

Editoriale

A fine novembre 2017, dopo alcuni mesi di sperimentazione Verizon ha annunciato l'intenzione di iniziare il servizio commerciale 5G a metà 2018 in quattro aree degli US, a partire da Sacramento, CA. Due giorni dopo il CTO di T-Mobile ha dichiarato che l'annuncio di Verizon era un "wishful thinking" (proiezione di una speranza piuttosto che realtà) in quanto la tecnologia non è, né sarebbe stata pronta. Inoltre, ha aggiunto il manager, gli "economics" non tornano, al punto che T-Mobile, non ha alcuna intenzione di investire a breve nel 5G.

Paradossalmente, hanno ragione entrambi! Verizon si propone di utilizzare lo spettro in campo millimetrico (28GHz) per portare la larga banda ad utilizzatori "fissi disposti a mettere un ricevitore sulla finestra per catturare il segnale radio, che, essendo in alta frequenza, ha problemi a passare attraverso muri e vetri. Dal ricevitore verrebbe poi fatto passare un filo in casa con cui alimentare un hot spot WiFi.

Non proprio quello che si immagina quando si parla di un sistema mobile.

Per Verizon questo sistema avrebbe un costo minore rispetto a portare la fibra all'appartamento. Visto che il 5G è un ombrello che comprende anche la banda 28GHz e la possibilità di utilizzare il canale radio per offrire connettività fissa, Verizon non dice il falso dichiarando di voler iniziare il servizio commerciale 5G a metà 2018, ma certamente non dice la verità per quanto si intende normalmente con 5G! Quindi neppure il CTO di T-Mobile ha torto quando critica l'annuncio di Verizon come puro marketing senza basi reali - visto che gli standard 5G non saranno disponibili per quando Verizon intende commercializzare il servizio - e quando dice che al momento è difficile vedere una redditività dal sistema 5G che ne giustifichi i costi di deployment (Verizon, però, non è tanto a caccia di redditività, quanto di contenimento dei costi per fornire comunque un servizio di connettività di base). D'altra parte il 5G è un sistema polimorfo che comprende una varietà di infrastrutture e servizi, per cui non è corretto bocciare completamente Verizon.

Nella mia esperienza, malgrado le dichiarazioni entusiastiche che riempiono i titoli dei giornali, molti addetti ai lavori sentiti in privato sono molto scettici sul 5G, non sul versante tecnologico, quanto su quello dei ritorni economici. Mi ricorda quello che si diceva 10 anni fa rispetto alla fibra. Tutti facevano annunci di varie architetture di infrastruttura in fibra, FTTx – Fibre To The X, e

scherzando, ma non troppo, si diceva che quella che andava per la maggiore era FTTP – Fibre To The Press (annunci alla stampa non seguiti da azioni reali). Oggi stiamo vivendo la stessa cosa per il 5G con un Operatore in Italia che “dimostra” il 5G controllando il volo di un drone dichiarando bassa latenza e 800 Mbps (salvo poi scoprire parlando con gli addetti ai lavori che il link era un semplice WiFi, che in effetti offre fino ad 1 Gbps in condizioni ottimali, quali quelle che ci sono in un prato con una distanza tra trasmettitore e drone di una decina di metri!). Anche qui non si può parlare di falso, in quanto il 5G comprenderà anche la comunicazione WiFi tra i suoi vari sistemi radio, ma certamente siamo molto distanti dal vero!

Questo numero di Mondo Digitale è stato pensato per fare il punto sul 5G, sulle sue promesse e soprattutto sulle sue implicazioni, tenendosi lontani dal marketing. Questo è quanto ho chiesto ai diversi autori, che ringrazio. Questi rappresentano punti di vista diversi, da Maurizio che è profondo conoscitore delle evoluzioni delle tecnologie e sistemi di telecomunicazioni avendole vissute in prima persona e che ha avuto importanti esperienze di industrializzazione / mercato e più recentemente di problemi di regolamentazione, a Franco che ha seguito negli anni, da politico che “fa”, i problemi della realizzazione di infrastrutture con la necessità di bilanciare interessi pubblici e privati.

Stephane è responsabile in ambito EIT Digital, l'Istituto Europeo per la Trasformazione Digitale, dell'area Digital Cities e fa il punto su cosa effettivamente serve ad una città e come il 5G possa soddisfare questi requisiti, aspetto importante visto che a livello di città possono venirsi a mescolare una varietà di infrastrutture e di attori che tali infrastrutture possono costruire (o mettere a disposizione). Alcuni partner di EIT Digital, come CRF e TIM, stanno lavorando in Italia su attività di sperimentazione per comunicazioni tra veicoli e tra veicoli e infrastruttura applicando tecnologie che faranno parte della “famiglia” 5G. Il Trentino, dove EIT Digital ha la sede del Nodo italiano, in particolare è impegnato nella promozione a 360° dello sviluppo di infrastrutture e competenze per il futuro della mobilità sostenibile, sia attraverso sperimentazioni sul campo sia promuovendo la formazione di giovani verso un futuro imprenditoriale in questo settore.

Gli standard per il 5G sono attualmente “work in progress” e ho chiesto ai responsabili del gruppo IEEE, Ashutosh e Gerhard, che lavorano sulla “5G Initiative” di fare il punto sugli standard e sulla roadmap, cioè su quando questi si renderanno disponibili.

David ha ricoperto posizioni di vertice in Huawei e Nokia, oltre ad essere professore universitario; a lui ho chiesto di fare il punto sulle tecnologie in fase di sviluppo, sia a livello edge (radio) sia a livello core (rete).

Lato mio apro il numero con un articolo che guarda in termini complessivi alla evoluzione dei sistemi radiomobili, dall'1G al 6G (!) cercando di evidenziare gli elementi di dirompenza che hanno caratterizzato le diverse transizioni.

La speranza è che questo numero possa essere di aiuto alla comprensione non solo del 5G ma anche della transizione che avverrà nei prossimi anni e delle sue implicazioni senza alcuna colorazione “di parte”. In questo credo che questo numero di Mondo Digitale svolga un servizio di chiarezza importante che lo distingue dal “diluvio” di pubblicazioni sul 5G: su Google sono indicizzati oltre 136 milioni di riferimenti al 5G, molto meno dei 3 miliardi di indicizzazioni a “sex” ma sempre tanti 😊.

Roberto Saracco
EIT

5G Evoluzione o Rivoluzione?

Roberto Saracco

Sommario

Il 5G è oggetto di una campagna mediatica che è più frutto di marketing che di evoluzione tecnologica, anche se questa esiste. Per il marketing il 5G è già qui, con Operatori che promettono offerte commerciali nel 2018, addirittura prima che gli standard vengano consolidati. Inoltre il marketing vende l'idea del 5G come presupposto alla evoluzioni in settori come IoT, Industry 4.0 e self-driving cars. Ovviamente, l'industria non intende aspettare che il 5G si trasformi da marketing a realtà e sta muovendosi utilizzando le tecnologie attuali, compreso il 4G, che in massima parte soddisfa i requisiti richiesti dall'industria. Questo articolo vuole fare un reality-check mettendo anche in luce aspetti che il marketing trascura...

Abstract

5G is over-emphasised by marketing, that "sells" it as the magic silver bullet. It involves technology evolution but that is not the main point. For marketers 5G is already a reality, a few Operators have announced its commercial availability by 2018, in spite of the fact that standards will not be available at that time. Besides, marketers claims that 5G is an absolute requirement to the deployment of IoT, of Industry 4.0 and self driving cars. For sure the Industry is not willing to wait for the availability of 5G for its evolution and it is moving on by using available technologies, like 4G, that by far are sufficient to meet its requirements.

This article aims at a reality check on 5G, as well as highlighting a few aspects that are not considered by the marketing campaign...

Keywords: 5G, Evolution of telecommunications systems, Digital Transformation, Business Transformation, Edge Networks

1. Introduzione

Le telecomunicazioni, come molti altri settori peraltro, sono in continua e rapida evoluzione, al punto che questa è attesa e data per scontata dal grande pubblico e in parte anche dagli addetti ai lavori.

Non stupisce quindi che appena il 4G, o LTE, è diventato realtà si sia immediatamente iniziato a "parlare" di 5G dando per scontato ed in un certo senso "superato" il 4G. In realtà il 4G non solo non è affatto superato, e la sua copertura non è ancora completa, ma è in continua evoluzione con una tabella di marcia che prevede ulteriori miglioramenti, di cui l'ultimo, al momento, è previsto per il 2023!

D'altra parte se osserviamo l'evoluzione dei sistemi cellulari, dall'analogico -che oggi potremmo chiamare 1G, al GSM, al 3G e ora al 4G vediamo che emerge un ciclo di vita abbastanza uniforme.

Occorrono una decina di anni dalla ideazione alla messa in servizio commerciale e ulteriori cinque anni per avere una significativa presa sul mercato; a questo punto il sistema rimane in esercizio per circa 20 anni prima di essere "pensionato" il che significa riassegnare le frequenze ad un altro sistema. Nei prossimi anni è previsto il pensionamento del GSM, e sono passati oltre venti anni da quel aprile 1995 ...

Ovviamente questa non è una legge fisica ma possiamo usarla come una buona approssimazione, e, estrapolando, possiamo immaginare che l'attuale 3G continuerà ad essere utilizzato almeno per tutta la prossima decade, il 4G arriverà almeno agli anni 30 e il 5G farà la sua comparsa "vera", quindi non come esperimento pilota ma in termini di utilizzo significativo, nella prossima decade, momento in cui inizieremo a parlare di 6G!

In questo articolo iniziale del numero speciale di Mondo Digitale dedicato al 5G vorrei soffermarmi su quello che il 5G non è, e, ovviamente, su quello che potrebbe essere o diventare soprattutto dal punto di vista dei diversi attori in gioco lasciando la trattazione degli aspetti tecnologici e regolatori agli articoli seguenti.

Le considerazioni che seguono sono il risultato di confronti effettuati nell'ambito dell'Industrial Advisory Board, che ho l'onore di guidare, in seno al Future Direction Committee dell'IEEE, anche se non necessariamente sono condivise da tutti i membri, per cui me ne assumo la responsabilità.

Il 5G segnerà una svolta significativa nel business delle telecomunicazioni e in diversi business collegati non perché il 5G sarà più performante, meno costoso, più pervasivo della precedente generazione (sebbene sarà migliore sotto tutti questi aspetti) ma perché l'intero settore delle telecomunicazioni ha raggiunto un punto di dirompenza. In un certo senso potremmo paragonarlo alla dirompenza cui abbiamo assistito a fine della scorsa decade che ha visto il mondo dei servizi di telecomunicazione, una volta dominio esclusivo degli Operatori di telecomunicazione, passare nelle mani di terze parti che erano completamente assenti a fine scorso secolo. Pensate per un attimo a come usate il telefonino. La maggior parte dell'uso avviene attraverso delle "app" che

non sono state sviluppate, commercializzate né portano introiti all'Operatore. Nella presentazione dell'iPhone 7, lo scorso anno, Tim Cook si è dilungato su tutto quello che quel telefonino poteva fare ma non ha citato neppure una volta che lo si potesse usare per ... telefonare. Peraltro, il 4G di cui si è tanto parlato, è stato portato sul mercato senza che fosse in grado di gestire le telefonate! Solo in quest'ultimo anno gli Operatori hanno potuto disporre di una versione di 4G che consente anche di fare telefonate, precedentemente poteva essere usato solo per trasmissione dati.

Nel 5G la dirompenza accadrà a livello della connettività, connettività che oggi è rimasta l'unico servizio sotto il completo controllo degli Operatori.

2. Il 5G non sarà un 4G +1

Per quanto possa apparire contraddittorio con quanto appena affermato la tecnologia alla base del 5G non è dirompente ma piuttosto evolutiva e in un certo senso persino meno "evolutiva" di quanto abbiamo avuto nel passaggio tra i precedenti "G". Se guardiamo al passato, siamo partiti con un sistema analogico (TACS) per passare al GSM, un cambiamento radicale per il passaggio al digitale e per il software che prende una posizione di rilievo (scherzando, ma non troppo, si diceva che GSM stesse ad indicare Great Software Monster). Questo ha consentito un miglioramento dell'utilizzo spettrale e ha aperto a nuovi servizi, quale l'SMS. Inoltre il parallelo progresso nella capacità elaborativa del telefonino rese possibile la gestione di più bande spettrali e quindi l'utilizzo del telefonino in tutto il mondo, anche in presenza di bande diverse.

Se il GSM lo si può ricordare per la conquista del mondo il passaggio al 3G (e la contemporanea presenza di smartphone più evoluti nello schermo e nelle performance) ha realmente aperto l'accesso ad internet e ai servizi dati a livello di massa nei paesi occidentali, mentre in contemporanea il basso costo dei telefonini GSM, ormai "fuori moda" da noi ha rivoluzionato le comunicazioni nei paesi emergenti dove il telefonino a 15€ è arrivato nelle mani di tutti portando le telecomunicazioni dove prima non esistevano e il tutto nell'arco di pochi anni.

Il 3G ha segnato soprattutto, dal punto di vista del business e dell'uso, una rivoluzione nei servizi. L'avvento dell'iPhone con l'apertura delle interfacce e la creazione di un negozio per le applicazioni ha spostato il controllo dei servizi dagli Operatori a terzi e ha profondamente mutato il modo di utilizzare il telefonino relegando la comunicazione vocale ad un "di cui" neppure troppo rilevante (specie per i giovani).

Da qualche anno è diventato disponibile il 4G. Tecnologicamente parlando il 4G rappresenta il punto di arrivo per quanto riguarda la efficienza spettrale raggiungendo, di fatto, il limite di Shannon. Corollario: il 5G non avrà maggiore efficienza spettrale del 4G! Per aumentare la capacità trasmissiva occorre utilizzare più banda e/o combattere l'interferenza attraverso l'uso di antenne multiple sia in ricezione sia in trasmissione (MIMO - già adottate nel 4G). La maggiore capacità elaborativa dei futuri terminali, sia per il 4 che per il 5G,

permetterà di gestire molte più antenne, multi-array antenna, migliorando la capacità di gestire l'interferenza e quindi aumentando la densità dei bit per Hz.

Si noti che il 4G offre una migliore (più bassa) latenza rispetto al 3G, ha la possibilità di utilizzo in nativo del protocollo IP -il che significa minor costo per gli apparati di trasmissione, particolarmente interessante per alcune applicazioni nel mondo IoT, e una capacità trasmissiva che arriverà ai 3,3 Gb al secondo per cella nelle prossime evoluzioni (con matrici MIMO da 8x8 e 128/256 QAM su uno spettro aggregato da 100MHz). Questo significa poter fornire in condizioni normali d'uso 100Mb al secondo all'utilizzatore.

Il 5G promette una minore latenza rispetto al 4G (che oggi è intorno agli 80ms - venduta come 50ms dal marketing). Occorre notare come la latenza, cioè il ritardo nella ricezione del segnale, dipende da un fattore fisico incompressibile, la velocità di propagazione dello spettro elettromagnetico ("c", la velocità della luce: in una trasmissione tra Roma e Londra questo ritardo è pari a quasi 5ms, 23ms tra Roma e New York e questi tempi non sono comprimibili), e un fattore dipendente dalla codifica del segnale oltre che dagli apparati che lo devono gestire. Quanti più ce ne sono tanto maggiore il ritardo che si viene ad introdurre.

Per il 5G il marketing promette una latenza di 1 ms! Ovviamente si scorda di dire che questa non tiene conto della latenza fisica... Vi sono alcune situazioni, come la comunicazione tra due veicoli che si avvicinano ad un incrocio in cui la latenza fisica è trascurabile (vista la distanza) e conta solo il ritardo introdotto dagli apparati di rete, e in casi come questi, specie se si fa a meno degli apparati di rete e la comunicazione è totalmente gestita dai veicoli, si può arrivare in effetti a pochi ms di ritardo. Il vantaggio reale offerto dal 5G rispetto ai precedenti "G" è la capacità di gestire sotto il suo ombrello una varietà di tecnologie, protocolli e standard in cui è possibile scegliere il migliore mix per una certa applicazione. La generalizzazione che si legge sui titoli di giornali rispecchia più il desiderio del marketing che la realtà tecnologica (peraltro sono iniziate da qualche mese le pubblicità di alcuni Operatori sul 4.5 G che rappresenta un buon strumento di marketing pur non trovando riscontro nella realtà...).

La promessa di bande oltre il Gbps per singolo utilizzatore non si basa su maggiore efficienza spettrale ma sulla possibilità di aggregare più bande e aumentare il MIMO fornendo così maggiore capacità alla cella. Inoltre restringendo le dimensioni della cella (micro celle) questa dovrà servire un minor numero di utilizzatori in contemporanea aumentando quindi la banda disponibile per ciascuno. Quello che ci si scorda di dire è che avere celle più piccole, per un Operatore, significa aumentare i costi e per far tornare i conti si dovrebbe far pagare di più i clienti. Ora la domanda è: si trova un mercato sufficiente disponibile a pagare 10 volte tanto per aver 10 volte più banda? Teniamo presente che con 100 Mbps a disposizione (oggi ne abbiamo probabilmente 10 ...) si riesce a soddisfare una varietà enorme di necessità e quanto rimane è perlomeno dubbio che costituisca un mercato sufficientemente remunerativo. Le indicazioni passate, rispetto al numero di utilizzatori disposti a

pagare di più per passare dalla velocità del 3G a quella del 4G, non sono incoraggianti. Oggi in pratica non vi è più differenza di prezzo...

Inoltre occorre tenere presente che la percezione di miglioramento quando si passa da 1 a 10 è maggiore di quando si passa da 10 a 100 ed enormemente maggiore rispetto al passare da 100 a 1000!

La sensazione è che si stia arrivando, in termini di utilizzo e bisogno del mass market, ad una soglia oltre la quale un aumento ulteriore di banda non sarebbe percepito come migliorativo, o comunque meritevole di un maggiore prezzo. Questa soglia sarà probabilmente raggiunta dal 4G nel momento in cui questo riesca a erogare intorno ai 50 Mbps in qualunque situazione. Certamente, resteranno casi (specie al di fuori del mass market) in cui a volte una capacità maggiore costituisce un valore che si è pronti a pagare ma i volumi (cioè i ritorni complessivi) per un Operatore non saranno probabilmente remunerativi rispetto agli investimenti necessari.

Questa, ovviamente, non è una questione tecnologica ma un aspetto di progettazione della rete vincolato da considerazioni economiche.

Quindi il punto cruciale è se nel 5G gli economics siano significativamente migliori rispetto a quelli del 4G al punto da sostenere una rete di celle densa quale quella richiesta per offrire certe capacità al singolo utilizzatore.

Questi aspetti economici dominano le riflessioni strategiche delle industrie in questa fase. Le posizioni sono leggermente diverse nelle tre grandi aree geografiche che saranno all'avanguardia nella transizione al 5G, rappresentate da Europa, US, Sud Corea/Giappone/Cina (nuovo entrante in questa top list in cui gli Operatori stanno pianificando un investimento nell'arco di 7 anni pari a 180 miliardi di \$, rispetto ai 110 pianificati per il 4G).

In Europa una dichiarazione dell'ETNO, che possiamo considerare un portavoce degli Operatori, sottolinea come le condizioni al contorno non siano ottimali per una massiccia richiesta di servizi, necessaria per rendere redditizio l'investimento sul 5G. Lo scenario europeo, va ricordato, è molto più frammentato rispetto alle altre aree geografiche citate. La Cina, inoltre, vede nel suo investimento sul 5G un ritorno indiretto attraverso la spinta al mercato per Huawei e ZTE che avrebbe ritorni a livello mondiale.

Interessante anche notare come nella dichiarazione di ETNO sia posto anche l'accento su una diversa regolamentazione sull'utilizzo dei dati, oggi a detta degli Operatori troppo restrittiva, cosa che impedisce una loro valorizzazione. L'interesse deriva dal fatto che evidenzia come gli Operatori siano alla ricerca di ricavi indiretti per sostenere gli investimenti e come i dati siano considerati una fonte importante. In questo contesto il quadro regolatorio è molto più favorevole fuori dall'Europa.

Un punto secondo me centrale che non è evidenziato, almeno esplicitamente dagli Operatori è la frammentazione della competizione che potrebbe derivare nel passaggio dal 3/4 G al 5G.

Il 5G è sostanzialmente reso possibile dalle cresciute capacità dei terminali, in grado di effettuare attività che oggi sono sotto il controllo della rete e quindi degli Operatori.

Il trasferimento del controllo ai terminali ed il ruolo che questi potrebbero assumere diventando essi stessi nodi della rete porta ad un possibile scenario in cui il controllo dell'accesso si sposta al terminale (e alle applicazioni - servizi che questo gestisce) sottraendolo all'Operatore. L'autenticazione potrebbe avvenire anche da parte di una terza parte. Inoltre nel momento in cui la sessione sia controllabile dal terminale/applicazione/servizio diventa possibile utilizzare all'interno della stessa sessione svariati access point, in sequenza e/o in parallelo. Le risorse (big pipes) controllate dall'Operatore diventano ancor più delle commodity nel momento in cui oltre ai servizi anche l'accesso possa essere gestito da altri.

Questo scenario ha un impatto significativo sui ritorni e sui business plan degli Operatori e abilita una nuova categoria di access provider.

Peraltro, la molteplicità di access point suddivide gli investimenti (costi delle celle) su più attori: oltre agli Operatori si possono immaginare una pletora di "hot spot provider" formati da quelli attuali più altri come l'industria dell'auto (con le singole vetture che possono essere punti di accesso e formare reti mesh), negozi e grandi magazzini, municipalità, organizzatori di eventi che possono complementare hot spot basati su WiFi con celle 5G a onde millimetriche (fuori dal contesto regolatorio, in grado di coprire celle molto piccole ma con grande offerta di capacità). Addirittura, singoli oggetti, a partire dagli smartphone per allargarsi a biciclette, mobili, elettrodomestici (i televisori top di gamma sono già oggi in grado di creare reti locali) ... in prospettiva potrebbero diventare degli hub generando reti di connettività locale (è quanto avviene oggi, su scala limitata, quando si fa il tethering con il proprio smartphone creando una rete locale a cui altri si possono agganciare).

Da un lato questo potrebbe essere un vantaggio per gli Operatori, portando ad una diminuzione degli investimenti necessari per moltiplicare le microcelle, ma con il rischio di perdere il controllo del cliente e quindi i ritorni.

In effetti è proprio questa possibilità offerta dal 5G, il passaggio del controllo dagli Operatori al terminale/applicazione/servizio che rende il 5G una innovazione dirompente, non la evoluzione tecnologica che risulta essere sostanzialmente lineare.

La dirompenza può incidere diversamente in diversi settori. Per questo ritengo opportuno considerarne alcuni sottolineando le specificità rispetto ai requisiti di comunicazione e a quanto il 5G può offrire di diverso dai sistemi attuali.

3. Industria e 5G

L'industria sta iniziando un percorso di trasformazione, da alcuni indicato con il nome Industry 4.0, in cui hardware e software si disaccoppiano e si integrano allo stesso tempo lungo tutta la filiera dalla supply chain alla produzione vera e propria, alla delivery chain proseguendo nella fase di utilizzo. Inoltre i confini tra supply/produzione/delivery/utilizzo si vanno facendo labili con sovrapposizioni e

inversioni che portano direttamente al consumatore la supply chain e la produzione, e che, al tempo stesso, portano l'utilizzatore ad interagire con la produzione a volte facendolo diventare parte della supply chain:

- L'utilizzatore di un prodotto si rivolge alla supply chain per introdurre altri componenti, o variarne alcuni esistenti, facendo quindi evolvere il prodotto stesso in termini di funzionalità (o di loro utilizzo). Importante notare come per alcuni prodotti le supply chain coinvolte dall'utilizzatore potrebbero essere diverse da quelle che afferiscono alla produzione. Una macchina fotografica digitale può essere "migliorata" dall'utilizzatore caricando un nuovo software ottenuto da terzi, un veicolo può aumentare le sue funzionalità ottenendo nuovo software per alcuni suoi componenti.
- La disponibilità di stampanti 3D a livello retail e mass market permette la creazione e integrazione di add-on ad un prodotto, una vera e propria produzione fatta in casa. Comunità di utilizzatori, in parte anche sviluppatori, dominano ormai in certi settori, come flight simulator, mettendo a disposizione una miriade di moduli software che possono essere integrati dall'utilizzatore finale. Questo, in qualche modo, diventa a volte un vero e proprio produttore, anche se si limita alla integrazione di componenti. Oggi questo richiede un livello di capacità che non è da tutti ma in prospettiva è immaginabile una semplificazione in questo tipo di produzione fatta in casa che allarghi significativamente il mercato.
- La presenza di software in molti prodotti viene sfruttata dai produttori per raccogliere informazioni sia sul funzionamento sia sulle modalità d'uso che vengono comunicate al produttore consentendogli un continuo "testing" del prodotto stesso e dando il polso di quello che l'utilizzatore usa effettivamente e di come lo usa consentendo di intervenire con migliorie sia in versioni successive o nuovi prodotti, sia in tempo quasi reale offrendo miglioramenti ai prodotti esistenti. In questo senso possiamo dire che l'utilizzatore diventa un elemento integrato nella produzione.

Il 90% e forse più delle necessità della filiera produttiva, incluso l'utilizzo, sono ampiamente soddisfatte dai sistemi di comunicazione attuali, dalle linee fisse al 3/4G. Se vediamo il 5G solo come un sistema che offre più capacità diventa difficile giustificare la sua realizzazione, in un contesto Industry 4.0.

Tuttavia, se facciamo riferimento agli elementi in qualche modo distintivi appena evidenziati dell'Industry 4.0, rispetto alla filiera attuale, allora possiamo ragionare sul 5G in termini di capacità di soddisfare questi bisogni specifici:

- L'integrazione delle supply chain nelle fasi di utilizzo avviene già oggi (si pensi agli update automatici di Apps) ma la possibilità di gestire in tempo reale un aggiornamento o una inclusione di un nuovo modulo software, la integrazione di un sistema presente nell'ambiente richiede una capacità, spesso, di gestire più canali di comunicazione in contemporanea. Pensiamo ad una macchina fotografica che mentre scatta una foto abbia la possibilità di comunicare in locale con altre macchine fotografiche all'interno di una rete ad hoc creata in modo dinamico per condividere elementi della fotografia da diversi punti di vista per arrivare a creare

immagini stereoscopiche. Questo tipo di evoluzione è ormai tracciato, la fotografia sta diventando un dominio software a cui contribuiscono più sensori di immagine (si pensi all'uso dei due sensori fatto dagli ultimi modelli di iPhone o a quello della Light L16, fotocamera che usa 16 sensori in contemporanea per comporre poi l'immagine a livello software). La condivisione di informazioni tra più sistemi, come smartphone, è dietro l'angolo e il 5G ne sarà un abilitatore. Si noti come nell'Industry 4.0 i robot avranno un ruolo predominante, operando in team flessibili e autonomi, e questi probabilmente sfrutteranno la molteplicità di sensori che complessivamente hanno mettendo in comune le informazioni attraverso reti locali create ad hoc, sfruttando le possibilità offerte dal 5G.

In alcuni casi queste reti locali saranno utilizzate per ottenere comunicazioni con latenza bassissima, una frazione di quella che si avrebbe se si dovesse gestire la comunicazione tramite i sistemi di rete.

- La possibilità di produrre ai "bordi della rete" e condividere con una comunità a livello locale o mondiale si avvantaggia dalla esistenza dei digital twins che, a loro volta, richiedono comunicazioni seamless tra vari cloud e gli edge, gli oggetti ed i terminali. Possiamo anche immaginare comunità di produzione, sia a livello "fabbrica" sia a livello user community, che vengono mantenute costantemente in rete condividendo informazioni e affinando i prodotti. Il 5G può costituire il tessuto di comunicazione, essendo capace di collegare una varietà di reti all'interno di una singola sessione.
- La capacità di comunicazione distribuita negli oggetti, embedded, diventa enormemente favorita, anche in termini economici, in una architettura 5G in cui gli edge possono creare reti semi autonome. Un produttore di un frigorifero non dovrà fornire la connettività verso la big internet ma sarà sufficiente fornire una capacità di comunicazione locale, sapendo poi di poter sfruttare la connettività dell'ambiente in cui presumibilmente quel frigorifero si troverà ad essere utilizzato. Di nuovo, l'architettura 5G che ha una capacità di gestione multi canale, multi rete e potenzialmente multi protocollo, operando sia a livello di reti locali sia a livello di reti globali, porta ad un vantaggio rispetto ai sistemi esistenti.

4. Intrattenimento e 5G

Nel settore intrattenimento uno degli sviluppi che introdurranno novità significative, con impatto potenziale sulla comunicazione è quello sulla "realtà aumentata". Si noti come questa trova e troverà applicazione in molti domini, oggi vi sono diverse applicazioni in settori industriali, nella riparazione di sistemi complessi come i motori degli aerei, nella sanità dove è entrata come aiuto in operazioni chirurgiche permettendo al chirurgo di vedere direttamente sul campo operativo informazioni sovrapposte o immagini raccolte attraverso MRI/TAC, nelle auto con gli HUD, nel turismo, in sistemi militari...

Tuttavia, il settore dell'intrattenimento, per le sue caratteristiche di mass market, è destinato a prendere il sopravvento in termini di valore e volumi ma anche in termini di innovazione. L'AR è iniziata in nicchie disponibili a pagare un prezzo

elevato pur di conseguire anche piccoli vantaggi portati dall'AR, si pensi al caso della riparazione del motore di un aereo dove il costo di un sistema AR è più che ripagato dalla possibilità di effettuare manutenzioni ovunque al mondo in completa sicurezza. Negli ultimi anni il costo di sistemi in grado di offrire AR è arrivato a livelli consumer, i telefonini più recenti iniziano ad avere sistemi per facilitare una esperienza AR. Pokemon GO è stato il primo gioco di grande successo basato su AR, e ora ne arrivano altri. Si estende anche l'applicazione ad altri aspetti dell'intrattenimento, ad esempio alla musica con la possibilità di godersi un cantante virtualmente presente nel proprio salotto di casa, fare un karaoke di fianco ad un famoso pianista... Si sta arrivando a dire che l'AR potrebbe essere un intrattenimento di per se stessa.

Per realizzare sistemi di AR occorre disporre di un terminale adatto su cui far confluire immagini virtuali e reali. Può essere ovviamente lo schermo del telefonino, ma anche una superficie in casa o per strada, l'interno della propria automobile, un cinematografo. Quello che importa è che la sensazione fornita sia quanto più possibile personalizzata e questo richiede una forte integrazione a livello del terminale. A sua volta, l'integrazione richiede un sistema di comunicazione seamless che "porti" il mondo sul terminale.

Per questo motivo il 5G potrebbe essere più interessante del 3 e 4G. Questi ultimi consentono, ovviamente, la fruizione di realtà aumentata (Pokemon GO non richiedeva neppure il 4G!) ma la possibilità di gestire molti canali, offerta dal 5G, che possono far confluire sul terminale diversi flussi, remoti e locali, potrebbe abilitare una fruizione più coinvolgente.

L'intrattenimento si potrebbe avvantaggiare del 5G anche nel settore dei giochi multiplayer in cui la minor latenza dovrebbe permettere maggior realismo in giochi di azione in cui i giocatori sono distanti e soprattutto la multi canalità potrebbe consentire la gestione di reti locali e globali.

La maggiore banda dovrebbe spingere ulteriormente verso consumi streaming, piuttosto che downloading e ownership. È capitato con il 4G e il 5G, se diventerà pervasivo, aumenterà certamente questa tendenza. È anche possibile immaginare che il 5G con la possibilità di creazione di reti in cui uno smartphone è un nodo di rete, possa abilitare nuove forme di consumo partecipativo, con uno smartphone che riceve contenuti in streaming e fa da hub e manda in broadcast ad un gruppo di amici i contenuti modificandoli. Si iniziano a vedere, con tecnologie web, esempi di ragazzi che utilizzano streaming di partite e vi sovrappongono il loro commento ritrasmettendoli a loro amici. Ovviamente scattano i vincoli sui diritti di autore ma al tempo stesso si aprono nuove opportunità di biz per i content provider.

5. Istruzione e 5G

E' molto recente la presa di posizione del ministro dell'Istruzione in Italia che "promuove" l'utilizzo dello smartphone in aula riconoscendogli un potenziale positivo nel contesto dell'educazione. Questo rappresenta un forte segnale di cambiamento ed un riconoscimento del ruolo che le tecnologie possono giocare in questo settore. Ovviamente non sono mancate le voci contrarie, reminescenti

di quelle che osteggiavano la scrittura 2500 anni fa e di quelle che lamentavano, 150 anni fa, la rimozione dai programmi di studio dell'insegnamento di come si fa a farsi l'inchiostro in casa. Ogni passaggio tecnologico porta con sé resistenze, che tuttavia hanno un valore positivo in quanto, come in altri settori della vita, non esistono soluzioni e approcci "buoni" a prescindere ma per ciascuno occorre tenere in conto le possibili negatività.

Nel settore dell'istruzione la possibilità di contestualizzare l'insegnamento legando quanto si va insegnando a situazioni reali porta ad un rafforzamento dell'apprendimento e spesso aumenta la motivazione in quanto se ne vedono le implicazioni pratiche. È inoltre noto che una multicanalità nel portare il messaggio formativo lo rafforza. Ad esempio studiare su un libro e vedere dei clip che presentano gli stessi concetti in forma diversa, magari immergersi in un gioco la cui partecipazione richiede la comprensione delle regole che si stanno studiando, rafforza l'apprendimento. In questo settore la realtà virtuale e la realtà aumentata sono strumenti molto interessanti che complementano il materiale didattico attuale e lo smartphone è il veicolo ideale per fruirne.

Interessante anche la possibilità di creare dei digital twin, così come nell'industria, della propria conoscenza a cui fare riferimento nel cyberspace. Le cose che vengono studiate arricchiscono il nostro digital twin che a differenza nostra non dimentica ma che non vive in modo autonomo, cioè impara solo quello che effettivamente impariamo noi e quindi commette anche i nostri stessi errori. Questa è la parte più interessante. Potremmo arrivare ad avere un alter ego che sbaglia molto più frequentemente di noi e ci avverte che qualcosa non funziona. A questo punto saremmo noi, real twin, a dover pensare a come evitare l'errore, ovviamente rivedendo il nostro bagaglio di conoscenze ed imparando meglio e di più. Questi approcci sono oggi alla frontiera della ricerca nel settore educativo, spinti anche dall'obiettivo di aiutare ragazzi con deficit cognitivi di vario genere. Nel futuro potrebbero diventare usuali a patto che si sviluppino sistemi seamless di collegamento tra noi e il nostro digital twin. Si noti inoltre come l'esistenza di questo digital twin permetta di sviluppare applicazioni nel cyberspace da parte di molteplici attori generando una spirale di innovazione di cui non è facile prevedere i limiti.

Un aspetto cruciale in questo approccio è il dosare l'apprendimento e gli stimoli per evitare un sovraccarico sensoriale che avrebbe effetti deleteri, peggiorando l'apprendimento e scoraggiando l'impegno nello stesso.

Lo smartphone rappresenta uno strumento ideale anche per assicurare l'allineamento con il nostro digital twin in modalità seamless.

Il 5G con la sua capacità di collegare reti locali e la big Internet può fornire un notevole supporto al settore istruzione. Lo studente, ma in prospettiva ciascuno di noi visto che il mondo sempre più richiede una istruzione continua (continuous professional education), nel corso della giornata può essere messo in contatto con una varietà di informazioni derivabili dall'ambiente, declinate sul versante fisica, matematica, storia, architettura... Il mondo attorno a noi è ricco di informazioni esplicite ed implicite che possono essere utilizzate per complementare e rafforzare l'apprendimento. Lo smartphone, in prospettiva,

oltre ad essere il sistema di presentazione/visualizzazione dei dati e un sistema di connessione alle informazioni può diventare il sistema per personalizzare queste informazioni allo studente che ne deve fruire adattandole al percorso educativo.

Questa possibilità di collegamento, in parallelo, a reti locali e alla big Internet è quanto può far la differenza in questo settore tra 5G e i sistemi attuali. Da notare che almeno nelle prime fasi, fino al 2025, la copertura offerta dal 5G in termini di global networks non sarà così pervasiva come quella dei sistemi attuali, tuttavia la transizione degli smartphone al 5G sarà molto più rapida e questo consentirà un loro utilizzo in modalità 5G per l'uso di servizi su reti locali in parallelo all'uso delle global network con sistemi 3G e 4G. Questa possibilità è realmente interessante nel settore education. L'utilizzo di reti WiFi, ad esempio, in ambito scolastico in parallelo all'uso della global network costituisce un differenziatore e un punto di forza.

6. Sanità e 5G

Nel settore sanità si sta assistendo ad una crescente focalizzazione sulla prevenzione da un lato e sulla "personalizzazione" dall'altro. Entrambe fanno leva sulle possibilità di monitoraggio offerte da sensori ambientali (videocamere e smartphone), indossabili (tipo braccialetti, smart watch) a contatto (lenti a contatto, cerotti) e embedded (sottocutanei e iniettabili). Sul versante personalizzazione rivestirà una importanza crescente la disponibilità ed analisi del genoma, memorizzabile in pochi GB ma richiedente significative capacità elaborative che molto probabilmente staranno nel Cloud. Similmente, per motivi di risparmio energetico, fondamentali quando si tratta di sensori embedded, indossabili e a contatto, l'elaborazione dei dati avverrà nel cloud e la trasmissione tra sensori e la big internet sarà in molti casi mediata da una Body Area Network.

Il 5G offre delle caratteristiche interessanti dal punto di vista di flessibilità di protocolli, essendo in grado di gestire a livello di reti locali protocolli specifici, anche ad alta efficienza energetica. Inoltre la sua capacità di gestire un roaming verticale (controllando la sessione a livello del terminale) permette una offerta di copertura che i sistemi attuali non sono in grado di offrire. La sua applicazione in un contesto sanità si presenta quindi particolarmente interessante e proprio da questo settore potrebbero derivare sviluppi specifici della architettura e tecnologia 5G verso il "micro" arrivando (ma siamo forse già al 6G?) alla gestione di comunicazioni con nanosistemi embedded.

Ovviamente il settore sanità è molto più ampio e include ospedali, case di cura e case di riposo, ambienti che hanno specifiche richieste di comunicazione, in sostanza già soddisfatte da sistemi wireless attuali ma certamente che potranno beneficiare dalle prestazioni aggiuntive del 5G, in particolare per la sua maggiore flessibilità che si presta a soddisfare meglio la varietà di esigenze di connessione delle IoT, tenendo conto come in questi ambienti sia prevista una significativa crescita del numero e varietà di IoT, dalla robotizzazione negli ospedali a sistemi di monitoraggio dei pazienti e degli anziani, dalla gestione delle medicine alla analisi della deambulazione...

7. Trasporti e 5G

Sono ormai numerosissimi i trasporti che sfruttano la comunicazione wireless sia per la loro operatività sia per offrire servizi di connettività, intrattenimento e informazione ai trasportati. Importanti e diffusi i sistemi di tracking delle merci che consentono un monitoraggio e una enorme efficienza alla logistica.

Nei prossimi anni, i primi segnali ci sono già, veicoli a guida autonoma inizieranno a circolare ed il loro numero crescerà per diventare predominante nel giro di una trentina di anni. Molto prima, tuttavia, il numero di veicoli a guida autonoma sarà rilevante. Questi utilizzeranno quanto di meglio i sistemi di comunicazione wireless possono offrire. Le aziende manifatturiere stanno già sperimentando vari sistemi (sotto l'etichetta V2X - Vehicle to Vehicle and Vehicle to Infrastructure communications) che in prospettiva confluiranno sotto l'ombrello 5G. Gli elementi rilevanti, oltre alla bassa latenza resa minima a livello di comunicazione tra veicoli che non interessano l'infrastruttura di rete classica, sono di nuovo la possibilità di gestire una pluralità di comunicazioni e access point all'interno di una stessa sessione il che rende molto flessibile la gestione delle connessioni e l'erogazione dei servizi.

In questo ambito hanno anche interesse le architetture che si stanno evolvendo a livello di rete, quali lo slicing, e la virtualizzazione delle risorse di rete (NFV e SDN) ulteriori elementi che aumentano la flessibilità di utilizzo. Si noti comunque come da un lato le aziende che operano in questo settore stiano lavorando usando le tecnologie attuali, dal WiFi (per la gestione di "treni di camion, "platoon") all'LTE (4G) e anche in prospettiva di disponibilità del 5G le soluzioni dovranno tener conto che non ovunque questo sarà disponibile e deve esistere comunque un "piano B" nel caso di una indisponibilità della infrastruttura, locale o globale, di comunicazione. Per questo motivo se da un lato il 5G offre caratteristiche interessanti per il sistema dei trasporti (incluso la logistica) dall'altro non viene visto come un elemento fondante in quanto le aziende manifatturiere e di trasporto vogliono sistemi operativi e affidabili a prescindere dalla disponibilità di elementi che non sono sotto il loro controllo. In questo senso si vede una piena cooperazione con aziende di telecomunicazione e municipalità (per lo sviluppo di infrastrutture adatte) ma anche una indipendenza da queste nei piani di sviluppo.

Se da un lato alcuni elementi architetturali del 5G potranno trovare collocazione nei veicoli (e viceversa soluzioni sviluppate per la comunicazione autonoma tra veicoli saranno inglobate nella architettura 5G) dall'altro questi tenderanno ad evolvere come infrastrutture (mesh) a sé stanti che possono operare indipendentemente dalla esistenza di una connessione di rete. Gli sviluppi tecnologici sono guidati dalla intelligenza artificiale che permetta una self awareness del singolo veicolo, indipendentemente da quanto il contesto possa "aiutare". Questo è inevitabile considerando che per moltissimi anni avremo ancora veicoli non "autonomi" operati da un guidatore e comunque anche in un futuro "futuro" in cui si possa immaginare che tutti i veicoli possano essere autonomi questi dovranno condividere la strada con ciclisti, pedoni, a animali vari.

8. Conclusioni

Da quanto presentato emerge che il 5G non è assolutamente necessario per il futuro, a dispetto di quanto spesso viene detto. Tuttavia, il 5G diventerà realtà, porterà indubbi vantaggi e diversi settori li sfrutteranno fornendo nuovi servizi a prezzi migliori al punto che tra una quindicina di anni ci chiederemo come abbiamo fatto a farne a meno. Ovviamente il ciclo non si chiude con il 5G per cui proprio nel momento in cui inizieremo a toccare con mano i suoi vantaggi ci verrà spiegato che in realtà c'è bisogno del 6G in una never ending story che abbiamo già vissuto.

Un elemento paradossale, che emerge da questa analisi, è che i vantaggi maggiori derivanti dal 5G si collocano al di fuori della sfera degli Operatori attuali di telecomunicazioni che sono chiamati a sostenerne gli investimenti. Quindi è probabile, e i segnali si vedono già, che questi cercheranno di bloccare l'utilizzo di quelle che sono le vere migliori portate dal 5G per non trovarsi tagliati fuori. Certamente un difficile nodo che le autorità si troveranno a dover se non sciogliere almeno gestire.

Tabella 1. L'evoluzione del "G"

Anno	Tecnologia	Biz	Non Telco
85-99	Analogico	Integrato Verticalmente (V.I)	
95-20	Digitale GSM	V.I., Carte prepagate Inizio attacco al biz linea fissa	Bluetooth
03-26	3G	MVNO Perdita controllo dei servizi a partire dal 2007 (app store)	+ WiFi / MIMO terze parti creano/forniscono i servizi (Apps)
15-30	4G - max efficienza spettrale, supporto IP nativo, MIMO	Tariffe flat dominano. Offerte integrate Fisso Mobile	+ V2X WiFi +BlueT per comunicazione tra terminali/comp/ogg.
20-40	5G – Aggregazione portanti, gestione e sessione nel terminale	Disaggregazione ai bordi (edge), terminali guidano, accesso fornito sia da Telecom sia da altri attori	Abbondanza di frequenze non regolamentate
30-50	6G – auto aggregazione in un "tessuto" di comunicazione	Infrastrutture regolate come "natural" commodities.	Tessuti di comunicazione ad hoc forniti da terze parti come elemento integrante ai loro biz Molti oggetti creano uno spazio di comunicazione che autonomamente forma delle reti

Tabella 2. Dirompenze conseguenti alla evoluzione wireless*

Anno	Causa	Effetto	Colpiti
00-25	Spostamento investimenti da Rete a terminali, Deployment segue la domanda. Aumento della penetrazione mass market, diminuzione dei costi (spinta dai volumi)	Spostamento da Fisso a Mobile, il valore si sposta dagli apparati di rete ai terminali. Ciclo di vita breve dei terminali spinge l'innovazione e l'adozione.	Operatori di linee fisse vedono una contrazione del mercato. Aumentano i ricavi dei produttori di terminali, ma i margini si contraggono richiedendo o offerte "premio" o/e grandi volumi
08-16	Aumentano le prestazioni elaborative e di memoria degli Smartphone. Apertura degli smartphone a terze parti consentendo lo sviluppo di servizi. Creazione di marketplace (Android, Apple Store ...) dove i servizi possono essere esposti ed acquistati.	Perdita del controllo dei servizi per le Telco; aumenta il ritmo dell'evoluzione nell'offerta e uso servizi, diminuisce il loro ciclo di vita	Mercato residenziale. Operatori perdono ricavi, nuovi attori offrono servizi e incassano i ricavi. Mercato suddiviso tra pochi oligopoli, alta frammentazione della restante offerta
15-35	Aumenta capacità degli Smartphone di gestire l'accesso (multi banda, multi carrier)	Il terminale controlla la sessione e sceglie dinamicamente il punto di accesso	Perdita del biz dell'accesso per gli Operatori porta a consolidazione del mercato. Crescita di soft access service provider con FAANG in posizione leader
15-40	Softwarizzazione di rete/apparati/terminali. Aumento delle prestazioni e integrazione degli apparati di rete che porta a volumi decrescenti	La rete diventa ancora più piatta, il controllo si sposta ai bordi, in parte nel terminale, in parte in access service provider	Manufatturiere Telco vedono contrazione ricavi. Downsizing e consolidamento. Nuovi attori ai bordi sfruttano la rete.
23-50	Tessuto di comunicazione auto-creato. Diversi oggetti e l'ambiente hanno integrate capacità di comunicazione/elaborazione e diventano consapevoli del loro contesto	Oggetti e ambiente sono il tessuto di comunicazione. Backbone e ultimo miglio diventano commodity regolate da una authority	L'industria dei Chip estende il suo mercato. Consolidamento gest. infrastrutture (fino ai bordi). Sempre più industrie richiedono competenze telecom

* Il primo anno indicata i primi segni di impatto, il secondo l'impatto pieno della dirompenza

Tabella 3 Evoluzione contest di Business

Anno	Tipologia traffico	Terminale	Spinta ai Ricavi	Leaders
85-90	Voce	telefonino	Clienti Business	Operatori; Nokia Ericsson, Motorola
90-00	Voce, SMS	telefonino	Biz + prepagata	Operatori; Nokia, Ericsson, Motorola
00-08	3G – voce, SMS, mail	telefonino, telefonini con WAP, telefonini con televisione	Mercato residenziale inizia a dominare. Internet e video deludono le attese	Operatori, Skype; Nokia, Ericsson, Sony, Motorola
08- ...	Internet traffic picks up, browsing, social netw. Apps	Smartphone, iPhone cambia la percezione d'uso	Residenziale domina, ARPU diminuisce; Cina e India crescono spinte dal traffico voce e SMS fino al 2015 poi web in crescita	Operatori voce e internet, Skype, frammentazione servizi; Nokia, Sony in declino, Samsung, LG, Apple in crescita
10- ...	Traffico Internet, video in crescita, domina dal 2016 in poi	Smartphone, Tablet; IoT in crescita ma basso impatto su ricavi e volumi traffico	Residenziale domina ARPU piatto o in diminuzione per Operatori; Servizi Video in crescita; Biz share più significativo con aumento ARPU, per Mobile Op che attaccano il fisso	Operatori per voce e accesso. Skype, Whatsapp. Nokia scompare. Samsung, LG, Apple; Huawei in crescita, inizia nel 2015 Netflix
20- ...	Internet video domina; crescita traffic generato da IoT (e.g. video da droni, security camera, ambienti consapevoli); IoT nei veicoli e symbiotic IoT crescono ponendo domande premium su qualità traffico. Forte impatto nelle decadi successive.	Smartphone, wearables, veicoli, sistemi AR/VR; IoT in continua crescita, inclusi Droni.	Diminuisce controllo sul Mercato residenziale per gli Operatori. Cresce impatto Industry 4.0, importante per gli Operatori. Ricavi da IoT in crescita ma al di fuori del controllo degli Operatori.	Nuovi attori dalle aree servizi contengono il mercato dell'accesso agli Operatori, FAANG dominano anche nell'accesso. Industria dell'auto -gestori flotte - diventano fornitori di servizi e di accesso
30- ...	Internet video/incl Holo domina. IoT segmenta le richieste di traffico in volume/bandwidth/delay	Superfici Interattive su oggetti e nell' ambiente, embeddable	Personalizzazione spinge la domanda del residenziale e del biz. Connettività data per scontata.	Industria dei servizi, oligopoli e frammentazione in nicchie

Biografia

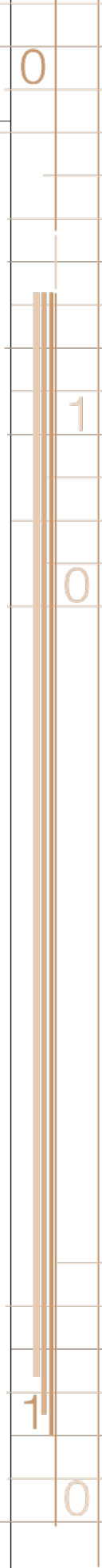
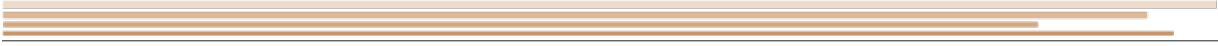
Roberto Saracco è il Presidente della Associazione EIT ICT Labs Italy; ad aprile 2017 ha lasciato la conduzione del Nodo italiano di EIT Digital per assumere la responsabilità della scuola europea di dottorato industriale di EIT Digital. Ha un background in matematica e informatica. Fino a dicembre 2011 è stato direttore del Future Centre di Telecom Italia a Venezia con l'obiettivo di analizzare le interrelazioni tra evoluzione tecnologica, economia e società derivandone linee strategiche per il settore delle telecomunicazioni.



Intorno al cambio di secolo ha condotto un progetto di innovazione in America Latina per conto della Banca Mondiale per stimolare la capacità imprenditoriale sfruttando le tecnologie ICT.

È senior member della IEEE in cui è responsabile dell'Industrial Advisory Group del Future Direction Committee e chair dell'IEEE Internet Initiative Emerging Technology Group. Ha pubblicato oltre 100 articoli in riviste tecniche e ad ampia diffusione, 14 libri e svariati eBooks. Cura un blog con pubblicazioni giornaliere sulla evoluzione tecnologica e sui suoi impatti economici e sociali: <http://sites.ieee.org/futuredirections/category/blog/>

Email: roberto.saracco@gmail.com



Il sistema 5G: una piattaforma progettata per i servizi digitali

Maurizio Dècina

Sommario

Mai come per il 5G l'ecosistema industriale dei sistemi radiomobili cellulari si è mosso in forte anticipo e in sincronia verso la realizzazione di una sofisticata piattaforma multiservizio che permette la diffusione dei servizi Internet alle persone e alle cose. Un sistema guidato dalla più forte alleanza industriale del pianeta che, a meno di tre anni dalla sua nascita ufficiale (1-1-2020), incomincia a prendere forma concreta con i protocolli per l'IoT e le nuove interfacce radio. Gran parte dei servizi 5G potranno essere erogati con i sistemi 4,5G, del tipo LTE Advanced, ove i quattro principali ingredienti tecnologici della futura generazione 5G sono sperimentati e introdotti massivamente sul mercato: Piccole Celle, Virtualizzazione delle Funzioni di Rete, Multi-Access Edge Computing e Massive MIMO.

Il 5G si differenzierà rispetto al 4,5G per le nuove interfacce radio NR (New Radio) e per i nuovi sistemi di codifica, modulazione e correzione degli errori (Filtered OFDM, Sparse Code Multiple Access, Polar Codes, ecc.).

L'obiettivo del 5G sono comunque i modelli di sviluppo per i servizi digitali offerti dagli operatori di telecomunicazioni in partnership con le utilities, le pubbliche amministrazioni, le imprese e gli Over The Top (OTT).



Abstract

The cellular mobile radio industrial ecosystem has started to consider the 5G well ahead of its scheduled deployment in a consistent way aiming at the set up of a sophisticated multiservice platform supporting the deployment of Internet services targeting people and "things". This strongest industrial alliance we have seen so far, planning for the official beginning of the 5G deployment (targeted on January 1st, 2020) has been designing the protocols for IoT and the new radio interfaces. A significant portion of the 5G services will become possible already with the 4.5G, LTE Advanced, where the four main technology ingredients of the future 5G generation are tested and deployed on the market: small cells, network function virtualisation, multi-access edge computing and Massive MIMO.

The 5G will be different from the 4.5G in terms of newer radio interfaces –NR New Radio– and from the new coding systems, multiplexing and error coding (Filtered OFDM, Sparse Code Multiple Access, Polar Codes, ecc.).

The 5G will support new development models for digital services offered by Telecom Operators in partnership with utilities, public administrations, enterprises and Over The Top (OTT).

Keywords: 5G, Backbone and bandwidth evolution, transition towards 5G, 5G services, Network slicing

1. Occorre guidare il futuro

Per progettare il futuro bisogna guardare con attenzione al passato. Non a caso il grafico illustrato nella Figura 1 ha una proiezione di quarant'anni: i vent'anni che precedono il 2015 e i vent'anni che seguono fino al 2035. La figura illustra l'evoluzione della capacità di banda offerta dai *backbone* ottici a lunga distanza così come da tutte le tecnologie di accesso, siano esse di tipo radio, o su portanti in rame, o in fibra ottica. Se guardiamo agli ultimi vent'anni, vediamo che nel 1995 il GSM offriva 10 kbit/s per canale. Se qualcuno mi avesse detto allora che dopo appena vent'anni, nel 2015, avremmo raggiunto i 100 Mbit/s per canale come avviene oggi con l'LTE, non ci avrei creduto.

Abbiamo assistito a una crescita strepitosa, oltre ogni previsione. Le WLAN hanno avuto un incremento dal Mbit/s del 1995 agli 800 Mbit/s permessi dall'ultima generazione di tali tecnologie. In sostanza, quasi un 1 Gbit/s di incremento ottenuto in neanche un ventennio. La trasmissione su rame è passata dai 144 kbit/s dell'ISDN del 1995 fino ai 300 Mbit/s del VDSL-Vectoring sui 300 metri. Esso si sta proiettando verso la tecnologia G.Fast che al 2020 promette capacità dell'ordine del Gbit/s, su distanze molto piccole: non più di

50-100 metri. Molto interessanti sono gli sviluppi dell'accesso in fibra ottica grazie all'evoluzione delle tecnologie GPON (*Gigabit Passive Optical Network*). Siamo partiti da 2,5 Gbit/s, ma oggi, in particolare in Giappone, Corea e altri Paesi dell'Asia-Pacifico, la tecnologia GPON consente capacità di 10 Gbit/s.

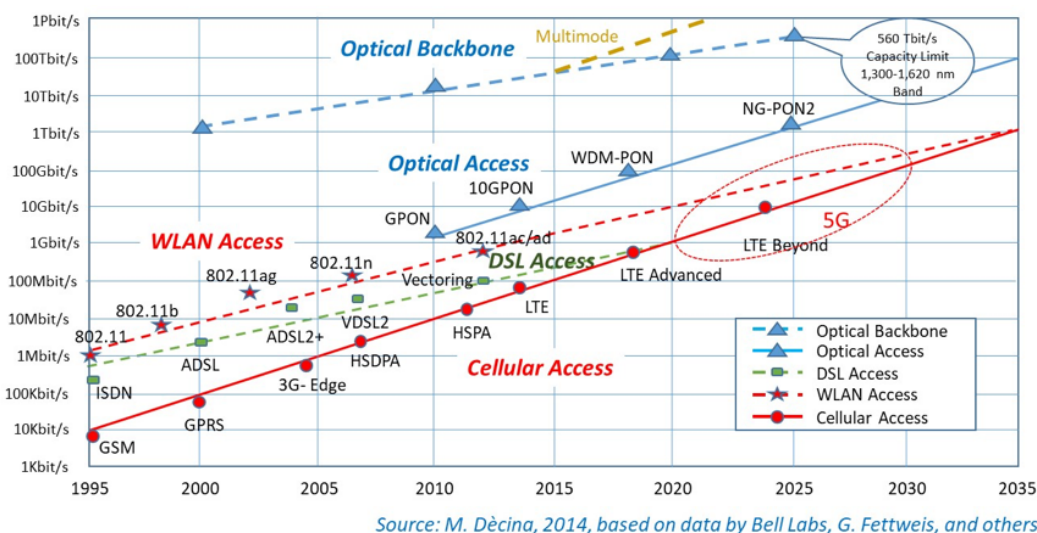


Figura 1
Evoluzione della banda di accesso e di backbone: quaranta anni di sviluppo

E' importante sottolineare che grazie alla tecnologia di moltiplicazione delle lunghezze d'onda, già oggi i backbone ottici presentano capacità dell'ordine dei 50-100 Tbit/s (un Tbit/s significa 1.000 Gbit/s).

Il passato e il presente li abbiamo ben chiari. Alla domanda "Che succederà nei prossimi vent'anni?" l'unica risposta seria da dare è che nessuno è stato mai capace di prevedere i vent'anni futuri, tanto più se si tratta di evoluzione tecnologica. Ciò non significa che non si debba provare a cogliere le direzioni di marcia del futuro. Nel grafico ho presentato l'ipotesi più semplice: che l'andamento esponenziale di crescita nei vent'anni dal 1995 al 2015 si mantenga uniforme anche nei vent'anni a venire. È un'ipotesi semplice e drastica, ma mi sembra la migliore su cui ragionare.

In particolare la fibra ottica offre diverse potenzialità di sviluppo. La moltiplicazione di colore nelle fibre ottiche di accesso (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*) consentirà al WDM-PON prestazioni attorno ai 100 Gbit/s già nei prossimi 5 anni. A partire dal 2025, con l'arrivo del NG-PON2 la capacità trasmissiva aumenterà verso il Tbit/s.

La fibra ottica continuerà ad essere il grande portante del futuro, arrivando sino a centinaia di Tbit/s per portante ottico. È importante, però, considerare che la fibra monomodale dei backbone ha un suo limite teorico: 560 Tbit/s. Secondo i Bell Labs, questo limite sarà prevedibilmente raggiunto nel 2025. Dopodiché, la fibra monomodale non avrà più capacità di crescita: bisognerà ricorrere a

tecnologie di tipo nuovo. La nuova tecnologia che sarà impiegata nell'ottica è la stessa oggi impiegata nella radio: il MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), la moltiplicazione spaziale che consente di usare vari link in parallelo invece di un solo link tra sorgente e destinazione. Per i sistemi 5G, si parla di massive MIMO: 128 canali spaziali! Lo stesso meccanismo si può utilizzare sulle fibre ottiche: ritornando alle fibre multimodali e moltiplicando nello spazio il limite dei 560 Tbit/s per un numero di modi pari a 4, 8, 16, e così via.

LTE oggi funziona a 100 Mbit/s con 20 MHz di spettro. L'*LTE Advanced* ha circa 1 Gbit/s di capacità ed è paragonabile all'802.11 ac/ad, il WiFi di ultima generazione capace di 700-800Mbit/s usando però 100 MHz di spettro. Per andare ai 10-100 Gbit/s di cui si parla per il 5G, lo spettro da impiegare è dell'ordine delle centinaia di MHz. Tuttavia le basse frequenze radio non sono adatte per offrire tale capacità spettrale. Bisogna andare su frequenze radio elevate: 20-40-80 GHz: lo spettro radio ad onde *millimetriche*. In conclusione, WLAN e radiomobili convergono verso l'idea rivoluzionaria delle celle di piccola dimensione, celle di 50-100 metri di copertura a elevatissima frequenza, in grado di dare capacità dell'ordine di 10 Gbit/s, fino ad arrivare ad un ipotetico Tbit/s.

2. Verso il sistema 5G

Le varie generazioni dei sistemi radiomobili cellulari seguono un processo industriale strettamente guidato e si sono succedute nel tempo con scadenza decennale. Mentre i sistemi di prima generazione 1G sono i precursori analogici, i sistemi 2G (GSM) di seconda generazione nascono nel 1990 e usano la tecnologia radio di accesso TDMA (*Time Division Multiple Access*). I sistemi 3G (UMTS) nascono nel 2000 e adottano la tecnologia CDMA (*Code Division Multiple Access*), mentre i sistemi 4G (LTE) nascono nel 2010 e impiegano l'innovativa tecnologia OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). Progressivamente la banda dedicata ad Internet si è allargata arrivando ai 100 Mbit/s di download dei primi sistemi LTE. Col sistema *LTE Advanced* si raggiungerà ben oltre un 1 Gbit/s, verso la fine di questa decade, il 2020, anno in cui nascono i sistemi 5G.

A differenza delle altre generazioni industriali, il sistema 5G non è fortemente caratterizzato da una innovativa tecnologia di accesso. Si parla invece dei requisiti di qualità del servizio che il 5G dovrà rispettare, in termini ad esempio di massima velocità di download (da 10 Gbit/s, in su) e di massima latenza (1ms). Per ottenere elevate velocità di download sarà necessario operare su porzioni di spettro grandi almeno quanto quelle dello LTE (da 20 MHz fino alle centinaia di MHz in *carrier aggregation* per l'*LTE Advanced*), esplorando nuove porzioni dello spettro radio (spettro a microonde e a onde millimetriche, fino a 100 GHz) ed adottando tecniche di "small cells" e di "massive MIMO" (*Multiple Input Multiple Output*).

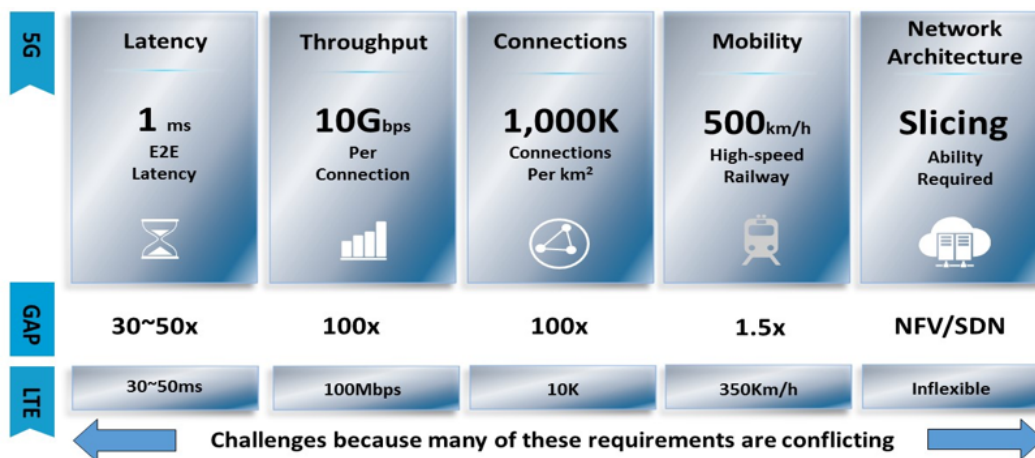


Figura 2
Requisiti di servizio per Sistemi 5G, Huawei, 2016

Per comprendere i requisiti di servizio dei sistemi 5G bisogna fare riferimento allo sviluppo della "Internet delle cose" (*Internet of Things - IoT*) che connette gli "oggetti intelligenti" (*smart objects*) che popolano gli ambienti che ci circondano, dalla casa alla città, fino a comprendere tutto il pianeta. Alla fine del 2016 c'erano circa 20 miliardi di oggetti intelligenti e connessi, mentre se ne prevedono circa 50 miliardi per il 2020. I settori applicativi della IoT sono innumerevoli e possono essere classificati in due grandi cluster applicativi.

- *Massive IoT*: le applicazioni sono caratterizzate da basso costo, basso consumo, e bassa capacità di comunicazione, nonché da un grande numero di dispositivi connessi; *trasporti e logistica, ambiente, casa intelligente, città intelligente, agricoltura, ecc.*
- *Mission Critical IoT*: le applicazioni sono caratterizzate da alta affidabilità, bassa latenza e alta capacità; *automotive, energia (smart grid), sanità, sicurezza, realtà aumentata, automazione della fabbrica, ecc.*

La Figura 2 illustra i requisiti tecnici che i sistemi 5G dovranno rispettare (messi a confronto con quelli dei sistemi 4G/LTE) per consentire l'accesso a Internet non solo da parte dei consumatori, ma anche dei dispositivi/sensori IoT. Per la continuità della *customer experience* in mobilità, i requisiti comprendono: velocità di download, velocità del movimento e volume dei dati; per i servizi IoT "mission critical": latenza e affidabilità; per i servizi IoT di tipo "massive": numero di dispositivi/sensori serviti e efficienza energetica dei dispositivi/sensori.

Per quanto riguarda infine l'architettura di rete 5G, questa è simile a quella del 4G ed è composta dalla rete di accesso radio (*evolved Node B*) e dal nucleo della rete: *Evolved Packet Core* e *Internet Multimedia System*. La grande differenza rispetto ai sistemi 4G è l'uso estensivo dei sistemi di virtualizzazione della rete: quando la maggioranza delle funzioni di rete è virtualizzata si può intervenire con il concetto di "5G Network Slicing" ("affettamento" virtuale della rete) che viene esaminato nel seguito. Le infrastrutture 5G promettono quindi una maggiore efficienza ed efficacia in termini di consumi di energia, tempi di

creazione del servizio e flessibilità nell'uso dell'hardware. La scalabilità e l'agilità nella gestione e creazione dei servizi 5G saranno garantite dall'impiego diffuso di tecnologie di *Cloud* e di *Multi-Access Edge Computing (MEC)* in una topologia di rete caratterizzata dall'uso in-door e out-door delle piccole celle. Le tecnologie di virtualizzazione della rete saranno infatti estensivamente impiegate sia nel nucleo (*NFV/SDN - Network Function Virtualization/Software Defined Networks*) che ai bordi della rete (ad esempio: *C-RAN - Cloud Radio Access Network*, per la virtualizzazione delle stazioni radio-base).

La virtualizzazione permette di centralizzare completamente le funzioni di controllo della rete, e quindi consente, sia un controllo capillare delle risorse (con grandi risparmi di costo), sia la possibilità di eseguire schemi sofisticati di *routing end-to-end* per ciascuna applicazione/transazione (*application aware routing*), con possibilità di innovazione dei servizi di trasporto offerti ai consumatori, alle imprese e alla pubblica amministrazione.

Inoltre, i sistemi 5G devono essere sorretti da una tecnologia sostenibile e scalabile per trattare efficacemente:

- *Crescita drammatica del numero di terminali* (all'inizio del 5G, nel 2020, ci saranno 50 miliardi di dispositivi connessi; nel 2030, all'alba dei sistemi 6G, le "cose" si conteranno in milioni di miliardi?).
- *Crescita sostenuta del traffico* (50-60% CAGR).
- *Reti eterogenee* (diverse interfacce radio e diversi protocolli standard per connettere dispositivi di utente/smartphone e sensori IoT).

3. I servizi 5G

La visione per lo sviluppo dei sistemi 5G è quella di una nuova generazione radiomobile cellulare che deve gestire efficacemente tre differenti tipi di traffico (vedi Figura 3):

1. *Alto throughput*, per servizi video e di realtà aumentata (*eMBB: enhanced Multimedia BroadBand*)
2. *Bassa energia*, per servizi massive IoT per sensori con batterie a lunga vita (10 anni) (*mMTC: massive Machine Type Communications*)
3. *Bassa latenza e alta affidabilità per servizi IoT mission critical* (*URLLC: Ultra Reliable Low Latency Communications*).

Si osserva che per contrastare il successo dei protocolli IoT di tipo *Low Power Wide Area Network (LPWAN)*, quali: *LoRa*, *SigFox* e *Weighless*), recentemente il 3GPP ha annunciato due nuovi standard cellulari per l'IoT: il più atteso è basato sull'LTE e si chiama NB-IOT (*narrowband IoT*) con canali da 180 kHz e capacità fino a 250 kbit/s, mentre l'altro è basato sul GSM e si chiama EC-GSM (*Extended Coverage GSM*). Per le applicazioni IoT a banda un po' più larga si confermano, sia il protocollo LTE-M (rinominato: *eMTC, enhanced Machine Type Communication*) con canali da 1,1 MHz e banda di 1 Mbit/s, sia il protocollo *LTE-CAT1* che abilita capacità superiori fino a 10 Mbit/s.

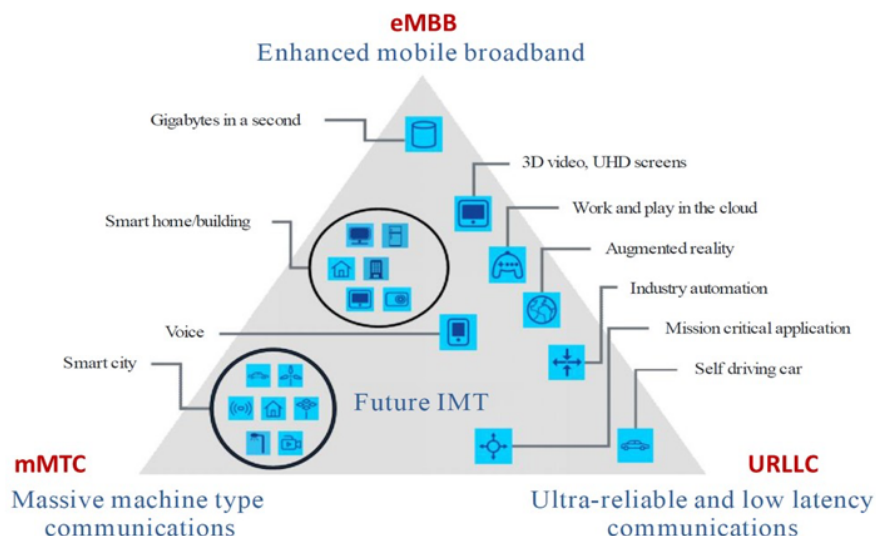


Figura 3
Cluster applicativi dei sistemi 5G, ITU, 2015

Pertanto, la visione dei sistemi 5G è quella di una piattaforma radiomobile per la realizzazione dei numerosi "mercati verticali" abilitati dalla IoT, ciascuno dei quali presenta requisiti di servizio molto differenti in termini di capacità di trasmissione, latenza, affidabilità, ecc.:

- Trasporti e Automobilismo,
- Manifattura e Industria,
- Media & Entertainment,
- Energia,
- Sanità e Benessere,
- Cibo e Agricoltura, ecc.

Si osserva che ciascun mercato verticale può richiedere la realizzazione di tutti i vari tipi di servizi 5G:

ad esempio, il mercato Manifattura e Industria (*Industrial IoT, Industry 4.0*) richiede, sia servizi *eMBB*: *enhanced Multimedia BroadBand* (uso della realtà aumentata nelle fabbriche), sia servizi *mMTC*: *massive Machine Type Communications* (sensori negli impianti industriali per la manutenzione preventiva), sia servizi *URLLC*: *Ultra Reliable Low Latency Communications* (controllo dei robot negli impianti industriali)

La Commissione Europea ha effettuato uno studio per stimare i benefici socio-economici stimolati dagli investimenti nei sistemi 5G, a partire dalla loro introduzione nel 2020 e fino al 2025. Nella Comunità a 28 Membri si stimano benefici complessivi per circa 110 miliardi di euro al 2025, a fronte di un investimento complessivo in sistemi 5G di circa 55 miliardi di euro.

4. Le fette virtuali di rete 5G

La Figura 4 mostra il concetto delle *5G Network Slices* ("fette" virtuali di rete 5G) elaborato dalla *Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance* per consentire la gestione dei diversi mercati.

La figura indica le risorse di rete generiche suddivise in: nodi di storage e cloud computing, posti sia nel centro (*core*) che nei bordi (*edge*) della rete, nodi di commutazione (*routers*), nodi di accesso e collegamenti trasmissivi. I nodi di accesso sono collegati con le stazioni radio base che impiegano differenti interfacce RAT (*Radio Access Technology*) a seconda del mercato indirizzato. Antenne radio, *fronthauling* e C-RAN sono usate per la virtualizzazione delle base station, mentre il *backhauling* collega la RAN al nucleo della rete. Fanno parte della fetta di rete anche le risorse poste nei dispositivi terminali (sensori e apparati di utente). Tutte le varie risorse possono essere dedicate alla singola "fetta di rete", oppure condivise tra fette di rete.

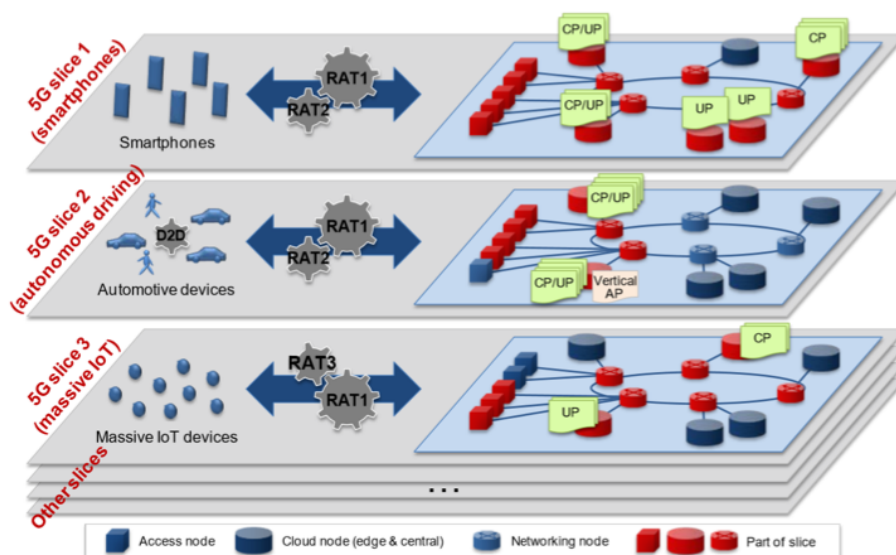


Figura 4
Fette virtuali di rete 5G, NGMN, 2016

La figura mostra a titolo di esempio tre fette di rete. La prima è dedicata ai servizi mobile broadband (eMBB): sono evidenziate in rosso le risorse utilizzate e i nodi di servizio sono marcati con le sigle CP e UP (*Control Plane* e *User Plane*) a seconda delle funzioni svolte. Un esempio di funzioni CP sono quelle per la gestione della mobilità presenti nell'elemento di rete detto MME (*Mobility Management Entity*).

La seconda fetta è dedicata al comparto automobilistico con applicazioni di *connected car* e *autonomous driving* (URLLC): i terminali posti nei veicoli permettono la comunicazione D2D (*device to device*) oltre che la comunicazione con le infrastrutture. In questa fetta si nota anche l'uso di un

dispositivo di *edge computing* (indicato come "vertical AP", *Application Plane*) per migliorare la latenza delle comunicazioni V2I, "vehicle to infrastructure". La terza fetta è infine dedicata ad applicazioni di *massive IoT* quali quelle delle *smart homes/smart cities* (mMTC).

Il concetto di "Network Slicing" ha varie applicazioni nell'ambito dei sistemi 5G: una delle più importanti è quella della *convergenza tra utenti fissi e utenti in mobilità*, ambedue connessi via radio al 5G. Il sistema dovrà ottimizzare le risorse dell'accesso, del *backhauling* e del "core" al fine di riservare apposite risorse di rete (spettro radio, banda di connessione, autenticazione, ecc.) per servire gli utenti fissi collegati con piccole celle.

Inoltre, le caratteristiche innovative della rete 5G completamente virtualizzata portano alla creazione di reti aziendali, reti di impresa sia fisse che mobili (vere e proprie *Reti Private Virtuali*) con caratteristiche di instradamento e gestione delle connessioni di tipo proprietario ed eseguito in collaborazione tra *carrier* e imprese. Un recente studio della Comunità Europea indica il mercato delle reti aziendali come uno dei più attraenti per i servizi offerti dai sistemi 5G.

Si osserva poi che alcune fette virtuali di rete possono essere allocate a *reti e servizi orientati alla pubblica amministrazione e ai cittadini*, compresi i servizi di emergenza.

In generale, la tecnica di *network slicing* permette di innestare nella rete virtuale delle nuove prestazioni di tipo globale che altrimenti non potrebbero essere introdotte in una rete reale. Negli Stati Uniti da molti anni si discute della *Next Generation Internet* e della possibilità di evolvere Internet verso il paradigma degli instradamenti sui nomi e non sugli indirizzi: le reti ICN (*Information Centric Networking*). Ad esempio nella rete DONA (*Data Oriented Network Architecture*) un contenuto, un oggetto (NDO, *Named Data Object*: pagina web, immagine, streaming video, ecc.) viene raggiunto dal richiedente tramite una procedura di risoluzione simile a quella dei server di dominio (DNS) della corrente Internet. Si sta prospettando lo sviluppo di una fetta di rete 5G di tipo ICN, dedicata appunto al *Content Delivery*.

Si osserva infine che nel recente rapporto BEREC sulla *Net Neutrality* si fa riferimento al 5G *network slicing* come un possibile strumento per veicolare su Internet "*servizi specializzati*" e si raccomanda che siano preservate le prestazioni di qualità della fetta di rete relativa al generico accesso dei consumatori a Internet.

5. Conclusioni

Mai come per il 5G l'ecosistema industriale dei sistemi radiomobili cellulari si è mosso in forte anticipo e in sincronia verso la realizzazione di una sofisticata piattaforma multiservizio che permette la diffusione dei servizi Internet alle persone e alle cose. Un sistema guidato dalla più forte alleanza industriale del pianeta che, a meno di tre anni dalla sua nascita ufficiale (2020), incomincia a prendere forma concreta con i protocolli per l'IoT e le nuove interfacce radio. Gran parte dei servizi 5G potranno essere erogati con i sistemi 4,5G, del tipo

LTE *Advanced*, ove i quattro principali ingredienti tecnologici della futura generazione 5G sono sperimentati e introdotti massivamente sul mercato:

- *Piccole Celle*
- *Virtualizzazione delle Funzioni di Rete*
- *Multi-Access Edge Computing*
- *Massive MIMO*

Nei sistemi 5G si realizza l'uso estensivo dei sistemi di virtualizzazione della rete: quando la maggioranza delle funzioni di rete è virtualizzata si può intervenire con la tecnica di "5G *Network Slicing*" ("affettamento" virtuale della rete). Questa tecnica permette di controllare capillarmente le risorse della rete e di allocarle a funzioni e servizi specifici per una varietà di applicazioni: dalle reti *mission critical*, alle reti ove è garantita la *net neutrality*, fino ad arrivare alle reti dedicate all'innovazione dei meccanismi di instradamento nella Internet del Futuro: le reti info-centriche, *Information Centric Networks*.

Il 5G si differenzierà poi rispetto al 4,5G per le nuove interfacce radio NR (*New Radio*) e per i nuovi sistemi di codifica, multiplazione e correzione degli errori (*Filtered OFDM, Sparse Code Multiple Access, Polar Codes, ecc.*).

L'obiettivo del 5G sono comunque i modelli di sviluppo per i servizi digitali offerti dagli operatori di telecomunicazioni in partnership con le utilities, le pubbliche amministrazioni, le imprese e gli *Over The Top* (OTT).

Biografia

Maurizio Dècina, Ingegnere elettronico e Professore Emerito al Politecnico di Milano, Maurizio Dècina ha diviso equamente i 50 anni della sua carriera tra accademia e industria.

Nel 2016 il Prof. Dècina è stato nominato Presidente di Infratel Italia.

E' stato consulente scientifico dei Laboratori Bell di Chicago, Direttore della Ricerca e Sviluppo della Italtel di Milano, nonché Direttore scientifico e fondatore del consorzio CEFRIEL di Milano. Il Prof. Dècina è stato Commissario dell'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni AGCOM e Presidente della Fondazione Ugo Bordoni di Roma, nonché membro del Consiglio di Amministrazione di Telecom Italia, Italtel e altre società del settore ICT.

Il Prof. Dècina è stato Presidente della Communications Society dello IEEE, che è l'associazione internazionale degli ingegneri delle telecomunicazioni. E' stato nominato Fellow dello IEEE per i contributi tecnico scientifici dati allo sviluppo delle telecomunicazioni, ed ha ricevuto tre premi IEEE: International Communications, Third Millennium Medal, and ComSoc/KICS Global Service.

Email: mdecina@infratelitalia.it

5G e fibra: dove e come investire?

Franco Bassanini

Sommario

L'infrastruttura fissa, formata dalla rete in fibra, e quella mobile che abilita il 5G con una copertura pervasiva saranno cruciali nelle prossime due decadi per promuovere la crescita economica e consentire la fornitura di nuovi servizi a beneficio della clientela residenziale e business. Lo sviluppo di queste infrastrutture richiederà investimenti significativi, anno dopo anno. Al tempo stesso questi investimenti, se effettuati in modo corretto, si ripagheranno incrementando il PIL. Le stime su un campione di nazioni indicano che un incremento di investimento dell'1% del PIL si traduce in un incremento del PIL dello 0,4% nel primo anno e del 1,5% nei quattro anni successivi. Tuttavia, non sarà semplice attirare il capitale necessario alla costruzione delle infrastrutture in fibra e quelle per il 5G. In questo giocherà un ruolo importante il quadro regolatorio per stimolare iniziative di Public Private Partnership. Inoltre queste infrastrutture porteranno a cambiamenti dirompenti nel mercato delle infrastrutture di telecomunicazioni, rendendo ulteriormente complicata la transizione. Questo articolo affronta questi aspetti e propone un approccio integrato allo sviluppo della infrastruttura fissa e mobile.

Abstract

Both a pervasive fibre infrastructure and a comprehensive 5G coverage will be crucial for the next two decades in supporting economic growth and providing services to the benefit of residential and business users. Building these infrastructures will require significant investment year over year. At the same time this investment, if correctly done, will pay for itself and it will increase the GDP. Estimated for a sample of Countries indicates that an additional 1% investment of the GDP on infrastructures has a positive effect of

5G e fibra: dove e come investire? 0.4% in the first year and 1.5% in the following four years. However, attracting the needed capital for the deployment of fibre and 5G infrastructures will require a balanced regulatory framework, stimulating PPP. Moreover, these infrastructures will lead to disruptive changes in the TLC infrastructure market, hence the difficulties in the transition. Wholesale only infrastructural operators will play a leading role in this innovation challenge.

Keywords: Fibre Infrastructure, 5G infrastructure, PPP, new infrastructures economic models, telecom infrastructure market disruptions

Intro

Convergence among telecommunication industry, advanced infotainment offers, value added services through any kind of retail businesses, have been providing a disruptive effect on traditional market models. Higher on the value chain, the pre-requisite of these disruptions are the infrastructural networks that enable a "future proof" connectivity, namely Ultra Broad Band Fiber To The Home (FTTH) frameworks and the 5G architecture: the only ones that can pave the way to a Gigabit society.

It's not only a question of speed (FTTH ensures >1 Gigabit/sec in download and upload). Reduced latency (<2ms) and higher reliability are essential, as well as high speed, for IoT, Industry 4.0, cars without driver or assisted driving, telemedicine etc. For the same reasons, also the 5G connectivity needs fiber backhauling. Both, FTTH and 5G infrastructures require significant investment with long-term return. Funding, regulating and managing this building process will be crucial to the sustainability of our economies.

As far as 5G is concerned, the classical scenario of interconnected networks, managed by different operators, will soon be anachronistic: on the other hand, a "wholesale only" model will better support the evolution of the 5G infrastructure, as well as the FTTH one.

For these reasons, while the "sunk investment" in copper networks remains substantial in the balance sheet of Telecommunications operators, we can envisage that pure wholesale only operators, such as Open Fiber, will play a leading role in this innovation challenge.

Scenario

Over the coming years, the global demand for investment in infrastructure will continue to be very high. The G20 in Hamburg 2017 estimates that 3.8 per cent of global GDP is needed in general infrastructure by 2030 at the global level. This represents 3.3 trillion dollars per year.

In general, massive investment will be needed to face structural changes required by the technological disruption and the new industrial revolution (AI, Industry 4.0), the replacement of old technologies, the challenges of post

COP21 on climate change and decarbonization, the substitution of stranded asset and the growth of international competition in a globalized economy.

Investing in infrastructure: a key factor to boost growth

All over the world, great investments in infrastructure are needed to achieve the objective of a strong, balanced and sustainable growth, as demanded by all G20 Summits, starting from Pittsburgh in 2009. Economic theory shows that investment is crucial to stimulate growth, increase competitiveness and reduce imbalances.

The multiplier is normally higher than the cost of the debt contracted to finance the investment. There are different opinions only on the size and shape of the phenomenon. According to IMF, in a sample of advanced economies, investing in infrastructures an additional 1% of GDP has a 0.4% effect on output in the first year and 1.5% in the following four years. Obviously, if an increase in GDP produced by investments is greater than the increase in debt, the ratio of debt to GDP falls. In other words, public infrastructure could pay for itself if done the right way.

The role of private long-term investors in financing infrastructures

In Europe, however, with high public debts, the legal constraints of the Fiscal Compact, structural unemployment (especially in peripheral countries) and growing social expenditures to cope with an aging society, the use of public resources to finance infrastructure is allowed only within narrow limits. There is then a strong need to attract private long-term investment and financing.

In Europe, the private financing of infrastructures was once assured almost exclusively by banks. But the European banking system, since the crisis, has been under pressure to repair balance sheets and is strongly restricted in its capacity to finance and invest in infrastructure.

The EIB and national promotional banks and institutions have reinforced their role, stepping in supporting projects by providing guarantees, after the collapse of the mono-line industry, and co-investing with commercial banks providing longer duration and lower costs. But in any case, wide spaces are now open for institutional investors seeking for low risk inflation-linked long-term investment opportunities to match their long-term liabilities; both in economic and in social infrastructure, each with their own characteristics.

Market driven infrastructures (energy, long distance transport, and TLC) can largely repay their construction costs with the cash flow they produce. In the utility sector, in Europe, independent regulatory authorities guarantee stable returns and moderate risks.

"Social" infrastructure, which need a full or a partial payment by the public sector, will use public-private-partnerships (PPP) based on availability payments or other innovative financial schemes and instruments. According to Eurostat rules, PPP initiatives are recorded off-balance sheet if the risk of construction is entirely taken over by the private investor. The higher cost of PPP, with respect to more traditional public procurement, according to the "story-line", is covered by the "value for money" created by the efficiency gains brought in by the private

sector, especially if supported by good technical assistance. Moreover, blending, that includes combining interest rate subsidies, special loans, guarantees, risk capital, prizes, and grants coming from the European and/or national funds, may strongly reduce the cost of the availability payments that the public sector has to provide to finance PPPs projects in the social sectors.

The conditions needed to attract private finance in infrastructure

There is now great liquidity in the market and strong demand for stable long term yields. Much of high quality sovereign bonds have been bought in by Central Banks and, anyway, their yields are at lowest level ever. Two years ago, in Paris, Angel Gurría told of a 5 trillion gap in the demand for long-term investment by institutional investors. In the same occasion, however, he also pleaded for a much greater effort by regulators and Governments to create the right conditions for such match between infrastructure and long term investors, even with a much more granular analysis of prudential and accounting regulation. But, after a decade since it was first proposed, the "storyline" has simply not materialized as planned.

Why? In many countries we still lack the right conditions. There is a strong asynchrony between, on the one side, the need to boost investment in infrastructure and the willingness of the financial industry to have infrastructure financing as a fully-fledged "asset class" to invest in, and, on the other side, the time needed to build all the missing parts of the underlying framework,. This asynchrony weighs on our future and puts at risk a successful execution of the new model.

The main actions, which are still missing, are, in my view, the followings.

1. Lack of quality pipelines - the "infrastructure bottleneck" challenge.

There are two types of "bottleneck" which need to be resolved to have good quality pipelines: one depends on public administration lack of skills and can be faced by providing good Technical Assistance (TA) services, especially for small and medium public works at the local level; the other depends on Governments reforms in a number of key sectors.

2. Public guarantees and State Aid rules

When a project has been included in public programs, considering its positive externalities for growth and/or social cohesion, and therefore its importance for public interest, EU and national Governments should decide to take more risk, both in tariff based and availability payment based projects.

Political and regulatory risk should find proper forms of public guarantees. In selected cases, public guarantees should cover also the risk related to the demand (such as traffic risk in the transport infrastructures).

The European rules on the prohibition of State Aid should be consequently reviewed. Authorities should consider that the European companies compete in global markets; consequently, they should shift the focus towards a smart and well-targeted distinction: the "good aid" (essential to foster growth and competitiveness, without significantly altering the

competition among European companies, which should be promoted) and the "bad aid" (not essential for growth and likely to distort the fair competition in the single market, which should be discouraged).

In principle, State aid rules are already there: State aid is compatible with the Treaties when it contributes to objectives of common interest, corrects market failures, has incentive effects, without or with negligible distortions of competition. But we must ensure that the EU competition rules are applied in a uniform and consistent manner by all the authorities (European and national) and without unjustified rigidities. Regulators and policy makers too often forget this or seem to ignore it, and thus they end up encouraging the national fragmentation and prevent the processes of concentration and cross-border consolidation which are needed to put European industry in condition to compete in global markets.

3. Prudential and accounting framework.

Post-crisis new regulations have favored financial stability but have negatively affected long-term investment. The Financial Stability Board (FSB) has focused on potential unintended consequences generated by regulatory reforms that may affect long-term financing investments. However, further efforts on a much more adapted and well-focused analysis of the regulation for the financing of infrastructure are needed. This means creating a new Infrastructure Asset Class Database, with project/asset-level long-term performance data.

An important step ahead has been made with the proposal by the EIB and the Long Term Investors Club (LTIC) to the G20 German Presidency to work on the creation of a global infrastructure database.

The "Infrastructure Data Initiative" should finally produce the data required by international regulators to better define the new "infrastructure asset class" and undertake the specific re-calibrations of the global accounting and regulatory frameworks needed to overcome potential excessive penalization not justified by a correct and objective probabilistic analysis of risks underlying certain classes of long term investors. A recent good news is the decision of the Argentine presidency of the G20 to put this issue at the top of the next Buenos Aires G 20 summit Agenda.

In the EU another important step was made by the recent changes in Solvency II - thank to the effort made by EIOPA with the technical support of EDHEC. It includes the introduction of the new concept of "qualifying infrastructure investments" as distinct asset class. The capital absorption has been significantly lowered. More should be done in the future. But finally this is an important step in the right direction.

At the EU level we still need more brave action on CRR2 and the accounting rules for banks in financing infrastructure (especially on the level of liquidity and capital ratios).

New models and instrument of partnership engaging private sector investors can help in dealing with the current low interest rates environment and providing a predictable (inflation adjusted) cash flow with a low correlation to existing investment returns.

The rationale is that financial markets, the so-called "real economy" and society form a holistic system. Each in turn depends on the other. None of the three is inherently stable, unless the relative interdependencies are managed. In the interplay of the economy, society and financial markets, infrastructure provide a key catalyst for employment, money and interest. This is why we believe that both economic and social infrastructure are a desirable option for long-term investors and an underutilized resource for public and social service providers.

Disruptive changes in the TLC infrastructure market

Like other utilities, European Telecommunications come from a past where companies were vertically integrated and publicly owned. Today, while most telecom operators have been partially or fully privatised, vertical integration of network and services remains the norm. This feature is exacerbated by the convergence between content production and telecommunications services delivery; this integration accentuates the internal conflict of interests about investments, increasing the need of interventions by government and regulators.

Vertical integration vs structural separation

In 2009 the European directives enacted specific provisions aiming at guaranteeing a legal framework for voluntary or mandatory separation among network and services. These provisions are currently being applied in the process of separation of British Telecom Network (Open Reach) from British Telecom and have been applied in the Czech Republic where the network operator (CETIN) was separated from O2 CR. Outside Europe, Australia, New Zealand and Singapore experienced a similar separation of the network company from the service company. The lesson learned from these separations is that they favour a better allocation of risks among investors and therefore generate value for the owners of both companies.

After the separation, network companies provide their services to all market players on an equal basis without engaging in any retail activity (wholesale-only companies), while service companies gain more flexibility because of reduced regulation and can pursue their objective of horizontal integration in other industries without regulatory obstacles. On the investors' side, Long Term Investors can concentrate on network telecommunication companies, whose investment requires a longer time for its remuneration but involves less risk; while other investors concentrate on service companies, where they can earn their rewards in a lesser time but bear more risk.

The disruptive effects of fiber optics and 5G

Nowadays, to reach the fulfilment of the EU Gigabit objective set for 2025, Europe needs robust investment on fibre: in addition to the speed and to a reduced latency, its higher effectiveness and its reliability (compared to copper ones) make fiber networks, together with 5G connectivity, essential for the development and widespread usage of the most relevant applications expected in the next years: new IoT applications, Telemedicine, assisted driving and self-

driving cars, artificial intelligence, Industry 4.0... All these developments can take place only if the networks work perfectly every single millisecond without interruption.

Traditional telecommunication operators have a financial interest to delay investment in fibre and to deploy, instead, interim technical solutions such as hybrid fibre-copper networks. Extending the lifetime of the copper networks guarantees a high return to their owners, since the current regulation remunerates assets on the basis of their substitution cost., and the current regulation remunerates assets on the basis of their substitution cost. While this provides a correct price signal to encourage market entry, at the same time, the regulated price guarantees an "over-remuneration" of copper.

As a consequence, FTTH in Europe is deployed only in a subset of areas, rendering the fulfilment of the EU Gigabit objective set for 2025, very problematic. To address this issue, the EU should evaluate mechanisms that remunerate investors in new fibre assets at least equally, and preferably even more than the ones that own depreciated and technologically obsolete assets.

Fixed and mobile: the wholesale proposition to overcome bottlenecks on the way to 5G

Moreover it's essential to highlight the increasing incidence of the sharing economy on the Telecommunications. Tomorrow, telecom companies will no longer own distinct physical networks, but software defined networks, making use of elements leased from subcontractors, combined and managed by the telecom operators to provide their services to their end-users. The European Commission is updating its telecommunications framework to make it futureproof in this regard. First, the definition of operator will be amended to include operators of virtual networks. Second, the European Commission acknowledges the future role of wholesale-only operators (art.77 of the Code). These are the operators that will deploy the fibre networks for the TLC service providers - the 'network's network'. Such operators, not involved in retail activities, are today only present in Italy (Open Fiber), in Ireland (Siro), in the Czech Republic (Cetin) and in a few other European countries. But in the future, such operators will likely operate in all Member States.

Furthermore, we have to consider that in the same time frame investment in 5G mobile communications networks is also expected to take place. Given the cost of deploying the future 5G networks and the fiber optic backhaul to the very dense network of antennas, full infrastructure competition in mobile (which developed among the leading service providers in the GSM area) would be inefficient and perhaps even unsustainable, except for the largest mobile operators and only in the larger cities. Moreover, the competing and interconnected operators will soon be unable to guarantee the high performances required by 5G connectivity. The "wholesale only" model will naturally support the evolution of the 5G networks towards a "sliced structure", managed by a single operator and optimized to satisfy the service needs of each vertical application (e-health, automotive, power systems).

Infrastructure competition would also lead to less consumer choice because smaller operators would not have the means to deploy networks throughout the countries concerned. In Italy, several OLOs have started discussions with us on the 5G infrastructure (they would own the spectrum, not the fiber network). They have understood that it makes no sense for each operator to deploy its own network to all households of the regions in which they are present, with the risk of the service not being taken up.

At the same time, the possible integration of fixed and mobile infrastructures into a single, double face network infrastructure eliminates the risk of future demand split between fixed and mobile service provision, as well as the risk connected to the potential competition between these two ways to access the network.

For these reasons I think that, in the next years, wholesale only TLC network, both for FTTH and 5G, will be one of the most interesting opportunities for long-term investors, willing to invest their money in a class of assets coherent with their risk profile. Open Fiber is one of the European pioneers in this innovation challenge.

Biografia

Franco Bassanini, former Italian Cabinet Minister for Public Administration and Regional Affairs (1996-2001) and Professor of Constitutional Law at the University of Rome, is now Special Adviser of the Italian Prime Minister and Chairman of the executive board of Open Fiber Inc. and of Astrid Foundation. He has been Chairman of Cassa Depositi e Prestiti (2008-2015), member of the Italian Parliament (1979-2006) of the *E.N.A. (École Nationale d'Administration)* Executive Board (2001-2005), and of the *Commission pour la Libération de la Croissance française* (Attali Committee).

Email: franco@bassanini.it

Digital cities leveraging on 5G

Stéphane Péan

Sommario

Due terzi della popolazione mondiale abiterà in contesti urbani nel 2030. Le città hanno progressivamente aumentato il loro peso economico, politico e sociale nel corso dei secoli e millenni e oggi sono all'avanguardia del mondo moderno, formando degli ecosistemi innovativi che generano prosperità. La trasformazione digitale è una delle principali evoluzioni odierne nello sviluppo delle città. Il suo obiettivo è l'ottimizzazione dei processi decisionali e l'empowerment della società civile. Nuove, creative innovazioni e nuovi modelli di business stanno emergendo ma spesso ad un ritmo troppo lento e non economicamente sostenibile. Occorre passare a volumi di scala, estendere quanto viene fatto ad altre città attraverso un riuso efficace tramite piattaforme aperte e inserire il tutto in un tessuto di comunicazione ad alta capacità e basso costo. Il 5G all'orizzonte, parte della strategia di evoluzione europea, può essere un componente cruciale per stimolare la crescita dei servizi sia in termini di offerta che di domanda e può avere un impatto positivo sull'economica e sulla società urbana.

Abstract

Two thirds of the world's population will be urban dwellers by 2030. Cities have been gaining economic, political and social power over the centuries and millennia and today they can be at the forefront of the modern world, forming innovative ecosystems that convey prosperity. Digital transformation is one of the main evolution within the development of Digital Cities. It aims at optimising decision-making as well as empowering civil society. New creative innovations and business models are coming, but often in too small steps to be sustainable. To scale-up at the metropolitan level or extend to other cities, they must be replicable with the use of open-platforms but also supported by a greater wireless infrastructure. The upcoming 5G, within the European strategy, will enable digital services to scale-up and then positively impact economy and society.

Keywords: cities, urbanisation, digital transformation, 5G, scalability, innovations

1. The uprise of Digital Cities

Today cities are considered as launch pads for digital transformation due to different reasons. The main trend concerns urbanisation which is a process that outspreads traditional cities beyond their own administrative boundaries, incorporating outer municipalities (periurban or rural) into a metropolitan system. Newly established metropolitan governments have now the leadership to set up larger scale strategies and more integrated public services, previously fragmented and not suited to an increased citizens mobility. Indeed, social life has become more varied than in the past due to diversification. As a result, metropolises must deliver more flexible and customised solutions for their citizens.



Moreover, cities are at the forefront of economic development, providing up to 85% of a region's GDP. They form an ecosystem where education, research and business socially interact leading to disruptive innovations.

Cities are the place where digital infrastructure is first deployed essentially because of higher demand (higher population density hence economy of scale), higher economic and cultural affordability and also social interaction opportunities (creative contents). By the way, it is also a tricky endeavour: disrupting traffic in addition to being a very costly one. The advent of wireless communications has decreased significantly the burden of deployment, although it is still partly there.



The transformation of a city into a Digital City is a gradual and continuous process. The first phase relates to services dematerialisation (analogic to digital) to increase productivity. The second phase leads to services integration beyond administrative silos, seeking data driven solutions to optimise public services or empower civil society (open data). The third phase carries out predictive analytics solutions to support decision-making (global data). The next

phase will be the age of pervasiveness with the Internet of Everything (IoE) - where people and objects are connected seamlessly, enabling scalable service experience to all. Many services are already known but new use cases will certainly come through as there is no limit to human imagination ... However, this

digital transformation will not happen overnight. It also requires promoting standardisation and the use of open platforms - such as City Enabler (www.cedus.eu), the Fiware based software solution - and redistributing connectivity among wireless networks to scale up the services experience.

2. The new era of Internet of Everything

Thanks to the Internet of Things (IoT), it is possible to use data from many sources - cameras, sensors or mobile phones - and merge them to monitor the city life in real-time and take quick decision but also devise new public policies thanks to global data driven predictive analytics. Many verticals are concerned by this new flexible and lifelike approach such as mobility, local business, tourism, environment, health care but also urban planning.

Not only things but people are also connected. By empowering civil society, people and companies can become active players and re-shape the city. They can directly create data in real-time thanks to smartphones' applications or social networks and send them through cloud-based sharing or co-creation platforms. By combining real-time data with structural information, it is possible to predict circumstances and act accordingly, individually as well as at institutional levels.

Nowadays, we can already experiment this type of solution to promote shopping streets, predict nearby pollution, monitor crowds and send public alerts. Nevertheless, data sourcing is still quite limited due to technological or deployment reasons.

With a pervasive 5G infrastructure, it will be possible to combine different networks together (objects and people) to collect more data, and consequently scale-up services at the metropolitan scale. Indeed, 5G can become in the next decade a breakthrough enabler to support the digital transformation of cities. In Europe, pioneering cities - "5G Capitals" (London, Paris or Berlin ...) but also resolute innovative mid-size cities - as well as main highways will be the launch pads for new 5G driven applications: emergency alerts, connected vehicles, autonomous driving, intelligent transportation, e-Tourism ...

It has to be said that cities don't wait for the 5G to be deployed, they are leveraging on current technological environment - Internet, 4G, WiFi and IoT standards such as LoRa or SigFox - getting ready at the same time to leverage the opportunities that 5G will bring.

3. 5G as a Digital Cities enabler

Stating that connectivity is a major enabler for a digital city is stating the obvious. As a matter of fact, all cities today, more or less smart, rely on a pervasive communications infrastructures collecting data, sending alert to citizen, supporting a variety of applications that orchestrate the city and deliver services.

Public communications networks is always leveraged but there are also other private networks that are used by cities, like dedicated radio system for police communications. Many cities have deployed, and are expanding, WiFi hot spots

to provide citizens with access points to city services and information.

So what would 5G add to these infrastructures and, conversely, how could cities leverage on 5G to provide better connectivity, services, information at ... lower cost?

5G has been (or is being) designed to serve a variety of communications needs, even though the media (and often Telecom Operators) focuses on higher speed/capacity and lower latency. In a city environment, higher speed (beyond the one already provided by 4G, in the ten of Mbps range) is not a plus. If you can deliver 10Mbps (even 4Mbps) you are fine. Capacity is sometimes an issue and you can increase capacity by deploying more cells (which is basically true for any Gs). The problem of course is that deploying more cells cost money and this additional investment makes sense if you are going to use that capacity and users are willing to pay for it. This is seldom the case, given the maturity level reached by the market.

Are 5G cells in an urban environment cheaper than equivalent 4G cells? No, they are not. However, and it is a BIG however, with 5G there is the possibility of clustering different sort of cells seamlessly integrating them into a seamless infrastructure (meaning that from the point of view of the user there is no perception of the variety of cells involved). As an example you can have a WiFi hot spot, a 4G cell, a bluetooth enabled window-shop, a 28GHz millimetre wave link, a vehicle created cell... A user will be able to connect to any of these cells/gateway AND to move from one to the other without losing connectivity. This is because the session management can be shifted from the network (owned by a single party, like an Operator) to the device being used (like a smartphone). Hence the seamless transfer from one cell to the next available one.

This changes the rules of the game since the cost of deployment and operation of these cells no longer gravitate on a single party but it is spread among many. A local government intending to increase its WiFi coverage to provide better connectivity to its citizens will have to invest quite a bit of money. With 5G it can piggy back on WiFi areas deployed by shop-keepers, by taxis, by buses... From a technical point of view 5G will take care of managing the communications transfer from one cell (in any given technology) to another (in any given technology). This is sometimes referred to as "vertical roaming" as opposed to the "horizontal roaming" of today where the handover takes place among homogenous technology (e.g 4G to 4G, 3G to 4G).

The seamless integration of different networks/gateways/technologies within the terminal opens up another interesting opportunity from the point of view of a city. Local governments are swapping incandescent lighting for LEDs illumination. LEDs can be modulated and therefore can be used to send signals (the technology name is LiFi, mimicking the WiFi, with Li standing for Light). The



problem is that you can use lamp posts to send signals but they cannot receive signals so it is a one way communications. With the capability of 5G of managing different "physical channels" for the upstream and downstream communications, one could imagine a citizen getting on his smartphone the downstream information via LiFi and interacting with that using an upstream channel like a radio cell.

This is the first interesting, very interesting advantage of 5G for a city. The second one is somewhat specular: a local government that has invested in communications infrastructures can make these infrastructures seamlessly available to third parties (when they have spare capacity) generating revenues. This opens the door to more effective PPP (Public Private Partnership) in the development of infrastructures.

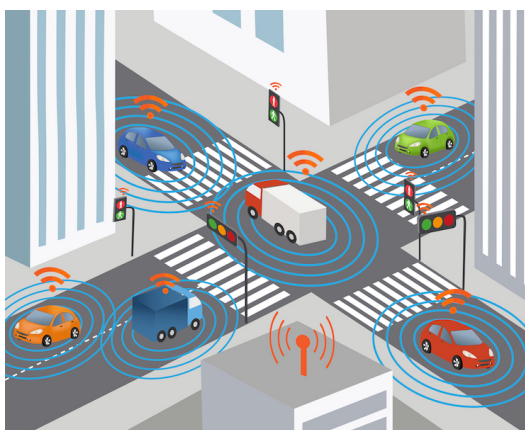
A second feature of 5G that can be of interest to a city is the coexistence of several protocols, including some with very low power budget. These are ideal to serve sensors in a urban environment when there is no availability of mains (or where it would be costly to provide one). The progress in sensors (and in low power electronics) has made possible the creation of sensors that are powered via energy scavenging, like turning the vibration of the road tarmac into power. This is sufficient to operate the sensor but it is not enough to support communications links of a sizeable length. 5G can provide the solution by enabling local communications with these sensors, harvesting data from them through public buses driving along, taxis and even cars that have accepted to serve as relay points.

Finally, 5G can be designed, from an architectural point of view, to operate just at the edges thus slashing down latency below a millisecond, thus enabling car to infrastructure communications supporting self driving cars.

4. Connected and autonomous vehicles, the flagship case

The digital transformation of transportation is also not built overnight. It is the result of a long process that was particularly steered by a worldwide research community called Intelligent Transportation Systems (ITS). This community has supported telematics based navigation systems including traffic information and even more recently, cooperative systems such as communication between vehicles (V2V) or with infrastructure (V2I), supporting specific standardisation. It

also supports the integration between different transportation modes - private cars, public transport, car or bike sharing, etc. - by promoting multimodal route



planners or payment integration. The road map targets the era of Mobility as a Service (MaaS).

Nowadays, the connected and autonomous vehicle (CAV) is considered as the next revolution in mobility. It was envisioned in the 30s when infrastructure engineers and carmakers were dreaming about Automated Highways. The first private driverless cars are supposed to come sooner on highways (level 3) where the driving conditions are the easiest; they are likely to be a bit on the expensive side, hence they will be sold in the premium segment focusing on "happy few" early adopters. Self driving cars will come later in cities where the driving context is more complex although we can expect some public autonomous transportation sooner. According to their cost, they may be used "on demand" through ride hailing services, with dedicated autonomous shuttles (level 4 or 5) addressing first and last mile in urban area.

Finally, the most important point is not the expected driverless function but the fact that a growing number of private cars will be fully connected. In the spirit of ITS, they will be able to communicate among each other as well as with the infrastructure to share traffic and safety information in real time, with the support of high definition digital maps.

The deployment of 5G in the next decade will flank the car industry's dedicated short-range DSRC (802.11p) for safety related V2V use cases thanks to lower latencies (1ms). Furthermore, 5G will enable the establishment of a network of connected vehicles sharing the same services in real-time and eventually in a networked ecosystem.

As far as digital cities are concerned, the connected cars will be associated to a large range of data or applications that support our daily life. For instance, connected cars will be able to identify where parking slots are available thanks to sensors in the infrastructure but also predictive analytics. they could be used for short distance ridesharing in cities and pedestrians, registered on platforms, will be identified and confirmed by drivers. It will be also part of a multimodal mobility system including intermodal transitions with the use of park&ride.

It will be also possible to access in real time all kinds of information in cities such as touristic points of interest or events by crossing each place; that will be visualised with head-up display and augmented reality. In case of accident, the connected car will send an alert (eCall) and a drone requested by the rescuers will quickly deliver blood through the air. In the future, applications are boundless ...

5. Conclusion

5G is not the solution for making cities smarter, but it will surely be part of the solution. We can expect its adoption to foster the integration of communications infrastructures within a city, with local government attracted by the decrease in investment made possible by sharing infrastructures, both existing and future ones. Additionally, the support provided to Internet of Things will be exploited at city level to increase the awareness (what is going on and why) and to

dynamically reshape the city life by influencing both hard resources and soft ones (citizens).

The additional capacity provided by the integration of networks (and multiplication of access cells) will support increased communications through augmented reality, increasing the awareness of citizens and influencing their behaviour.

We can expect 5G to increase the scalability of solutions, a crucial aspect in a city environment where demands change rapidly and the approach of sizing to meet the peak demand is too costly, whilst disregarding it makes, sometimes, life miserable to citizens. In this sense 5G can be expected to improve the happiness of the citizenship.

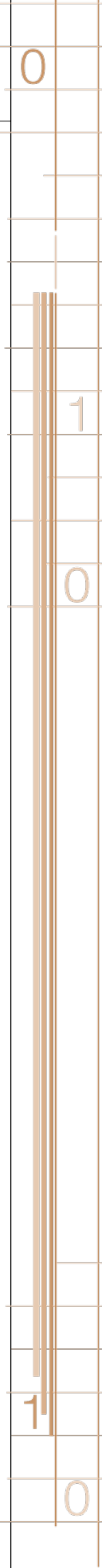
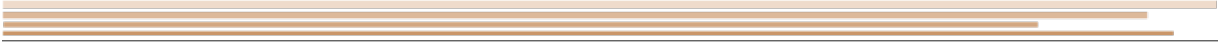
Biography

Stéphane Péan has been appointed Digital Cities Action Line Leader at EIT Digital, the leading European open innovation organisation driven by a go-to-market mindset. Prior to joining EIT Digital, he held various roles in automotive and future mobility, particularly as international Project Manager at Toyota Motor Corporation. He previously held positions as Consultant in collaboration with IHS Markit Automotive, Analyst at PSA Group in its Tokyo location and Head of ITS France.



He holds Master's Degrees in Urbanism from Sciences Po Paris and in Intelligent Transportation Systems from École des Ponts/ParisTech, as well as an MBA in Global Business & Leadership from Globis University in Japan.

Email: stephane.pean@eitdigital.eu



IEEE 5G and Beyond Initiative - A Perspective

Ashutosh Dutta e Gerhard Fettweis

Sommario

Il 5G non rappresenta solo l'evoluzione del 4G ma un cambio di paradigma. Il 5G fornisce una maggiore capacità di banda e una più bassa latenza delle attuali generazioni ed ha una architettura in grado di abilitare nuove applicazioni soddisfacendo requisiti molto più stringenti consentendo l'esecuzione di funzionalità in tempo reale a larga banda.

La 5G Initiative lanciata dalla FDC (Future Direction Committee dell'IEEE) ha un approccio a 360° sul tema andando oltre gli aspetti tecnologici per affrontare e promuovere la standardizzazione, lo sviluppo di tutorial e corsi di formazione, la creazione di una forte comunità di specialisti attraverso workshop, conferenze e uno spazio per la collaborazione on line che sta coinvolgendo quasi 10.000 membri.

Abstract

5G is not just the next evolution of 4G technology; it's a paradigm shift. Not only is 5G providing higher bandwidth and lower latency than current-generation technology, more importantly, 5G is expected to enable fundamentally new applications with much more stringent requirements in latency (e.g., real time) and bandwidth (e.g., streaming).

It will be exploited in smart transportation, eHealth, smart cities, entertainment services transforming IoT into a sensing and actuating infrastructure by ensuring effective and pervasive connectivity.



The IEEE FDC 5G Initiative takes a 360° view on 5G, capturing a truly global perspective when looking beyond the technical aspects by fostering standardization, developing an education framework with tutorials and courses, and creating a strong community through workshops, conferences, publications and an online collaboration workspace that is approaching 10,000 members.

Keywords: 5G, 5G Standardization, 5G centric applications, SDN, Paradigm Change, FDC IEEE 5G Initiative

Starting with the introduction of 1G back in the early 80s, the world has seen a rapid evolution of wireless and cellular technologies through each subsequent decade. Over this period, wireless networks have also evolved to support much higher bandwidth and lower end-to-end delay, supporting delay-sensitive applications such as interactive voice and video. For example, the 1G and 2G networks that were deployed in the late 1980s and early 1990s, respectively, could only support data rates of up to a few tens of kilobits per second, but by the start of the new century, they had evolved into 3G networks supporting up to 2 Mb/s data rate. The first generation mobile systems (1G) were analog in nature with large end-terminals and supported voice only. Some examples of 1G cellular systems are NMT (Nordic Mobile Telephone), TACS (Total Access Communications System), JTACS (Japan TACS), and AMPS (Advanced Mobile Phone System). During the early 1990s, different flavors of second generation cellular systems (e.g., GSM, IS-95) were developed in different parts of the world. This 2G cellular technology introduced digital communication with smaller phones and lower power consumption supporting low data rate services such as SMS and email. With the start of the new Millennium, third generation cellular systems (e.g., UMTS, CDMA) emerged and they ushered in the era of smart phones that were capable of supporting a wide range of services with higher data rates. More than a decade later, the world is seeing the wide spread deployment of 4G/LTE technologies supporting bandwidths of up to 100 Mb/s and less than 100 ms of end-to-end latency that can support interactive multimedia services. However, momentum is now building up to develop 5G technologies with a goal to deploy it by 2020. The fifth generation mobile technology is expected to provide a number of improvements compared to its predecessors in terms of higher data rates (up to 1 Gb/s), massive connectivity, flexible service creation and low latency, among others.

One of the goals of 5G technology is to provide ubiquitous connectivity while also addressing the demands of both individual consumers and businesses, in 2020 and beyond. Using advanced technologies, these 5G wireless technologies will purportedly further increase bandwidth, improve QoS, provide better usability and security, reduce delays as well as the total cost of service. These 5G technologies are expected to not only provide higher throughput, and lower latency but also a higher connectivity density and mobility range without compromising reliability. Along with network optimization, 5G technology is

flexible by design allowing its networks to support a wide range of use cases. By virtue of its flexibility and an agile development methodology that uses modular network functions, it supports various use cases that are both scalable and cost effective. Software Defined Networks (SDN) and Network Function Virtualization (NFV) can play a big role in providing this functional modularity.

Today, several standards organizations and forums are working on defining the architecture and standardizing various aspects of 5G technologies. These include NGMN (Next Generation Mobile Network), ITU (International Telecommunication Union), GSMA (GSM Association), 3GPP (3rd Generation Partnership Project), WWRF (Wireless World Research Forum), 5G Americas, 5GPPP (5th Generation Public Private Partnership), 5GMF (5th Generation Mobile Communications Promotion Forum), 5GForum, and IEEE to name a few.

For example, an operator driven standardization organization, NGMN has defined five different use cases that could benefit from 5G technology and serve as the drivers. These five areas are categorized as Mobile Broadband, Mission Critical Communications, Massive Internet of Things (IoT), Broadcast-like Services, and Higher User Mobility. Mobile Broadband could include broadband access in dense areas and broadband access everywhere. Mission Critical Communications could include Extreme Real-Time Communications, Lifeline Communications, and Ultra-reliable Communications. In order to support use cases like Internet of Things (IoT), high frequency communication and low latency applications 5G technologies may need to introduce new radio interfaces. Hence, there will be a need for additional spectrum supported by flexible spectrum management techniques. However, 5G is not confined to development of new radio interfaces or physical layer only but will focus on an end-to-end system that includes all aspects of the network and will involve multiple layers. Future networks will consist of heterogeneous access technologies, will support multiple types of end user devices and will be subjected to context-based communications. By way of rapid service creation environment, 5G will be able to enhance service delivery in a highly cost efficient and energy efficient manner.

5G is not just the next evolution of 4G technology; it's a paradigm shift. Not only is 5G evolutionary (providing higher bandwidth and lower latency than current-generation technology), more importantly, 5G is revolutionary—in that it is expected to enable fundamentally new applications with much more stringent requirements in latency (e.g., real time) and bandwidth (e.g., streaming). 5G should help solve the last-mile/-kilometer problem and provide broadband access to the next billion users on earth at much lower cost because of its use of new spectrum and its improvements in spectral efficiency.

Flexibility, ease of use, dynamic nature of the network, Quality-of-Service (QoS), and anytime/anywhere to end users are some of the benefits for end users in the move to 5G. 5G is an enabler of exciting use cases that will transform the way humanity lives, works, and engages with its environment. In the short term, 5G can support exciting use cases such as the IoT, smart transportation, eHealth, smart cities, entertainment services, etc. For example:

- IoT—as 5G will enable more than 1,000 times more mobile data vs. today's cellular system by 2020, it is expected that it will serve as the backbone enabling the industrial IoT. In other words, 5G will help support IoT's communications needs on both IoT sensor and control networks.
- Smart transportation—short latency and short-wave communication is essential for emerging autonomous driving. Vehicles could be alerted to dangerous situations in real time and prevent crashes with intelligent emergency braking or steering systems. 5G plays an integral role in helping connect the LAN/MAN architectures, coupled with other communication structures, to enable avoidance of such incidents, as well as quickly addressing such issues when they occur.
- eHealth—with 5G's nearly real-time response times, doctors could perform operations around the world with video controls and machines to respond with limited delay. The medium, enabling coupling of robotics and sensors (among other technologies), will benefit from low latency and ability to handle scale with higher bandwidths in a secure connection. Further, 5G may offer the possibility to realize “zero physical distance” from patient to accessible and more affordable healthcare without quality reduction. Wireless sensor networks would provide the ability to remotely monitor parameters, such as heart rate and blood pressure through the use of sensors.
- Smart cities—5G stands to undergird smart cities in which intelligent stoplights monitor and control traffic and proactive capabilities' emergency management systems are enabled. Multi-level parking facilities could communicate with in-car navigation systems to guide drivers to the best parking spaces and prevent traffic jams; service workers could quickly assess power outages while simply wearing smart contact lenses or glasses, etc.
- Entertainment services—because the current 4G cannot economically support such bandwidth-hungry applications, 5G could support interactive mobile games. Sporting events could utilize effective and efficient usage of spectrum and leverage new broadcast capabilities, such as 4D.

In the longer term, 5G use cases can include:

- Tactile computing and kinesthetic communication—The introduction of this technology, coupled with 5G, the ability to hold mobile devices to accident victims coupled with pressure sensitivity from doctors and health specialists would provide valuable opportunities. For example, emergency rooms could be quickly prepared for immediate surgery, and life-saving opportunities could be enhanced by ensuring the right specialists are on hand
- Holographic interactions—for a variety of use cases, the ability to interact with a hologram and receive tactile responses presents an incredible future. For example, the ability to interact socially changes considerably as the zero-latency concept shifts from simply a Tweet as an interaction to actually being able to shake hands and see the person saying the comments directly. This also provides opportunities to reduce the global spread of diseases such as MERS, Ebola and other contagions.

The advanced capabilities of 5G mean that we're driving innovation along three different axes. Axis number one is based on the fact that cellular network data rates increase about 10x every five years – we've known that for 2 ½ decades – and that's going to leap ahead with 5G. This has big implications for mobile data networks. Think of sending massive files with the touch of your finger, or real-time virtual reality at 200Gb/s. The second, completely new aspect of 5G is that it will enable us to connect sensors, devices, objects, and so forth in a massive Internet of Things network. The interconnectedness of billions of objects, devices, and networks will generate a wave of innovation that will take decades to fully realize. The third major category of capability is that 5G will enable us to build infrastructure for remote controls, often known as , "tactile Internet." This means we can have an interaction with virtual environments just as we are used to from tactile interaction with objects around us, which means real and virtual object will be able to interact with a reaction time of one to 10 milliseconds to enable a human to control things in a steady state that mimics reality. Conceivably, a person or a machine could be in one place, yet apply their physical skills in another place through the tactile Internet. This possibility will enable a burst of innovation in so many aspects of our lives that we simply cannot imagine all the applications at this point.

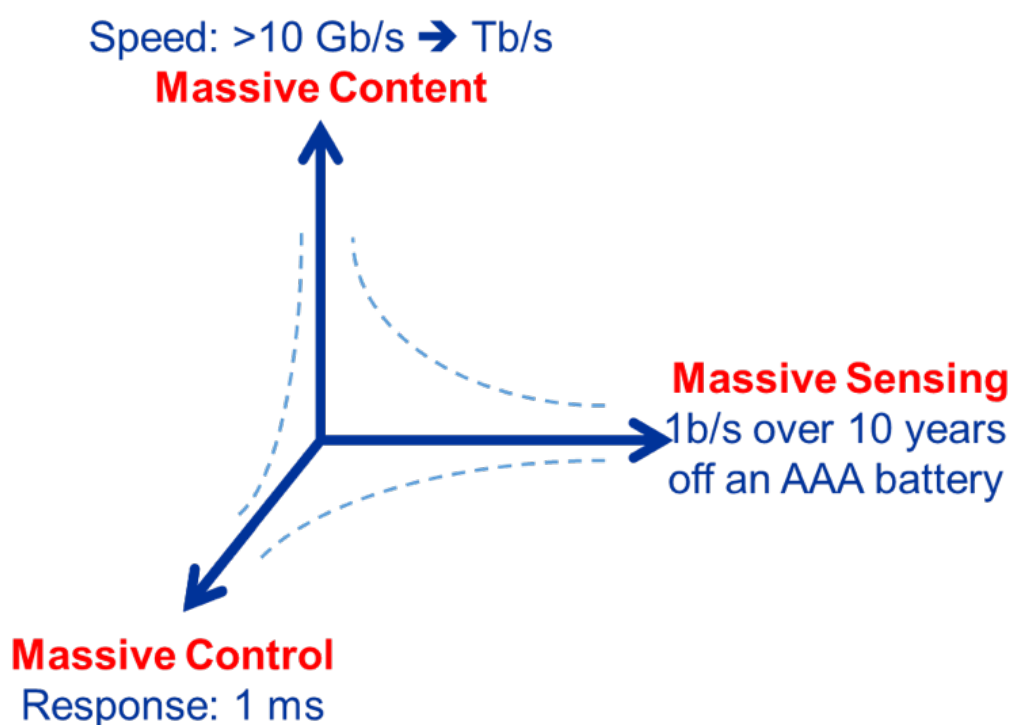
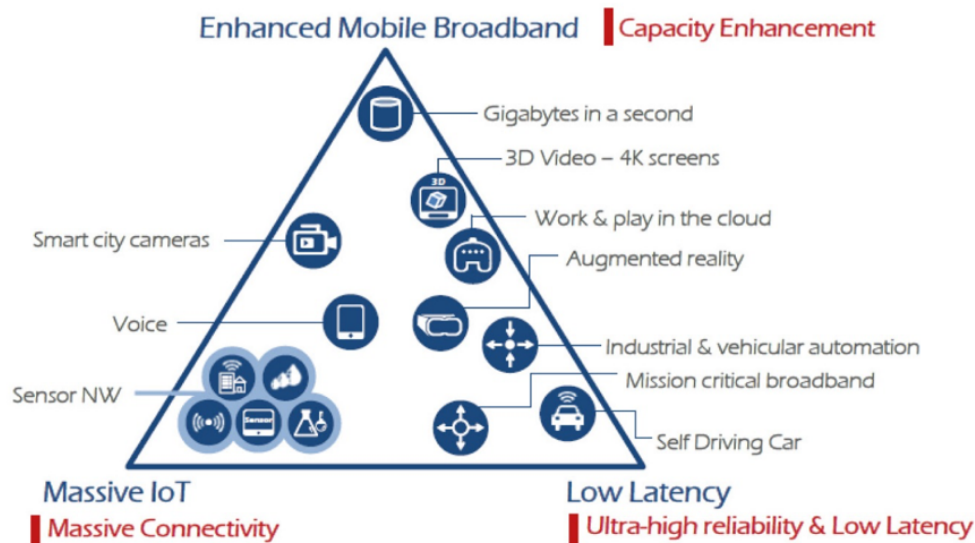


Figure 1
Three axes of 5G Evolution



(Source: ETRI graphic, from ITU-R IMT 2020 requirements)

Figure 2
5G Centric Applications

If one looks at 5G from an IEEE perspective, it's essentially a connectivity infrastructure that touches the innovation of sensors, integrated circuits, communications, computing, Big Data, and many further areas. It touches computing control theory, drives, as well as automatic controls. So, it will impact how we build the computer systems of the future to control interconnected objects. It will drive how we design integrated circuits, how we build antennas. We'll need to understand how power can be generated to run aspects of these systems. Standards for interoperability will be critical to all this. So 5G really touches many if not every IEEE society. The development of 5G will affect the future of research and development and the structure of our industrial base. That's why it makes sense to launch the IEEE Future Directions 5G Initiative, where all these focal areas can coalesce. As well, IEEE is a global organization with hundreds of thousands of volunteers focused on these technologies and with knowledge of their unique region's circumstances and requirements. As an organization, IEEE has deep expertise in fostering collaboration and achieving consensus, which is critical to a sea change like 5G.

Because 5G touches so many technical areas, the Initiative is currently driven by IEEE Future Direction Committee (FDC) and consists of 20 specific IEEE technical societies – though the initiative eventually will involve additional societies. We have a 5G Steering Committee composed of leaders from IEEE Future Directions as well as the technical societies and organizational units involved. IEEE 5G Initiative was launched on August 29, 2016 in Princeton, NJ.

More details of IEEE 5G initiative can be found at 5g.ieee.org. Figure 3 shows the picture of attendees for IEEE 5G Initiative kick-off meeting and Figure 4 shows the list of currently participating technical societies.



Figure 3
IEEE 5G Initiative Kickoff Meeting at Princeton, New Jersey, August 29, 2016



Figure 4
Participating IEEE Societies for IEEE 5G Initiative

Primary objectives of IEEE 5G and Beyond Initiative are as follows:

- Foster collaboration and connect technical & business communities to IEEE 5G experts and resources
- Act as the catalyst for IEEE cross-society activities on 5G
- Establish IEEE as a thought leader and essential to the 5G community
- To be recognized as the go-to resource for engineering and technology professionals in industry, academia and government working on 5G
- Develop and promote valued programs, products and services for the 5G community
- Present a single IEEE face/voice to the 5G marketplace
- Be a true global 5G initiative capturing the needs of all global regions
- Create a neutral platform/forum where those interested in 5G can engage and collaborate.

IEEE 5G and Beyond Initiative is governed by a steering committee that includes steering committee co-chairs, the representatives from the contributing societies and co-chairs from various working groups, namely Standards, Education, Publication, Conferences, Content Development, Community Development, Industry Outreach, and Technology Roadmap. Each of these working groups consists of a committee of 10 – 20 members chaired by two working group co-chairs. Similarly, Technology Roadmap WG consists of several focused technical working groups, namely Standardization, MIMO, mmWave, Hardware, Security, Edge Automation Platform, Applications, Satellite, and Testbed. Figure 5 shows the organization structure of IEEE 5G and Beyond Initiative.

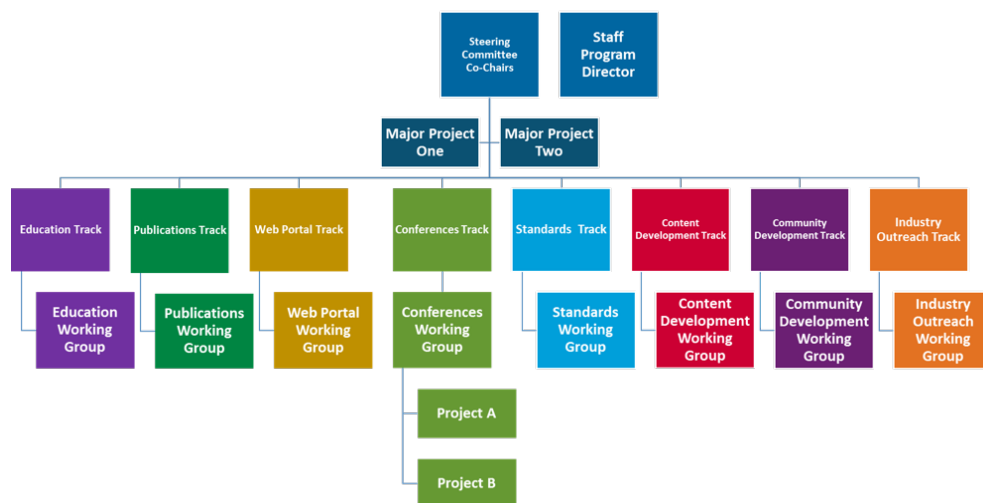


Figure 5
IEEE 5G Initiative Organization Structure

Since its inception each of the working groups of the Initiative has conducted several activities. Some of these activities are mentioned below.

Education WG

Education working group consists of about 15-20 active members who meet on Friday every two weeks. This working group has produced several deliverables, including, webinars, tutorials,

Webinars

5 webinars have taken place during 2017 and more webinars are planned for 2018. The list of webinars conducted during 2017 is given in bibliography.

Tutorials

IEEE 5G Initiative Education WG continues to organize IEEE 5G tutorials in various parts of the world with the help of the local organizers. This provides an opportunity to offer 5G related technologies to the local audience around the world who cannot attend big size conferences happening others parts of the world due to cost or need to travel. During 2017, IEEE 5G Initiative has conducted different tutorials in three different locations, namely Bangalore, India, Edison, NJ, and Shanghai China. These tutorials were attended by both onsite participants and online attendees from various parts of the world through Webex. Plans are underway to conduct similar tutorials at other parts of the world including Toronto, California, Malaysia, Europe and Australia. More details about some of these tutorials, webinars and how to get involved in some of these activities can be found at the following link. <https://5g.ieee.org/education>. This also lists webinars hosted by other societies such as IEEE Communications Society.

Publications WG

Publications WG has been focusing on various aspects of publications in the areas of 5G including online publications through Tech-Focus and special issues through magazine and journals of various societies. During 2017, Publications WG has published four issues of Tech-Focus issues with each Issue covering four articles. These issues cover various topics ranging from basics of 5G, how 5G can be applied to various verticals such as automotive, mmwave, Massive MIMO, Network Slicing, Standards for 5G and Beyond. Complete details of the Tech-Focus publications can be found at the following link, <https://5g.ieee.org/tech-focus>. This process provides a very quick way of publishing new and upcoming development in the areas of 5G covering various verticals and technology areas to a wider community. This site provides the details of all the published Tech-Focus articles and list of upcoming articles including Call-For-Papers for future series. In addition to online Tech-Focus articles, IEEE 5G initiative is also sponsoring special issues through various societies. IEEE Vehicular Technology Society just published the first special issue on 5G Technologies and Applications sponsored by IEEE 5G Initiative. List of 5G related articles and call for publications can be found at the following link <https://5g.ieee.org/publications>. Authors interested in exploring potential publication opportunity will find this site very useful.

Community Development

One of the objectives of IEEE 5G and Beyond initiative is to provide a platform to the world community and reach out to all regions of the world to contribute to 5G evolution efforts in a neutral manner. Hence, community development is an important aspect of IEEE 5G Initiative to be able to reach out to every corner of the world. Community Development WG within IEEE 5G Initiative makes every attempt to build the 5G community. As of November 2017, there are about 2000 members who have enrolled in Technical community. IEEE Collabratec has about 10000 members. In addition, there is an increasing trend of followers in Twitter, LinkedIn and Facebook. Web Portal traffic growing steadily at 15%/month – 5K+ visitors/10K+ page views monthly, Collabratec Community increased to 8K+ members, Technical Community, Twitter. Facebook growing at 10%/month. The following IEEE 5G and Beyond Dynamic Web

Metrics link provides a dynamic statistics https://datastudio.google.com/u/0/org//reporting/0B_h6zJpdQdsXYm1aalpGdTRhTGc/page/EzT.

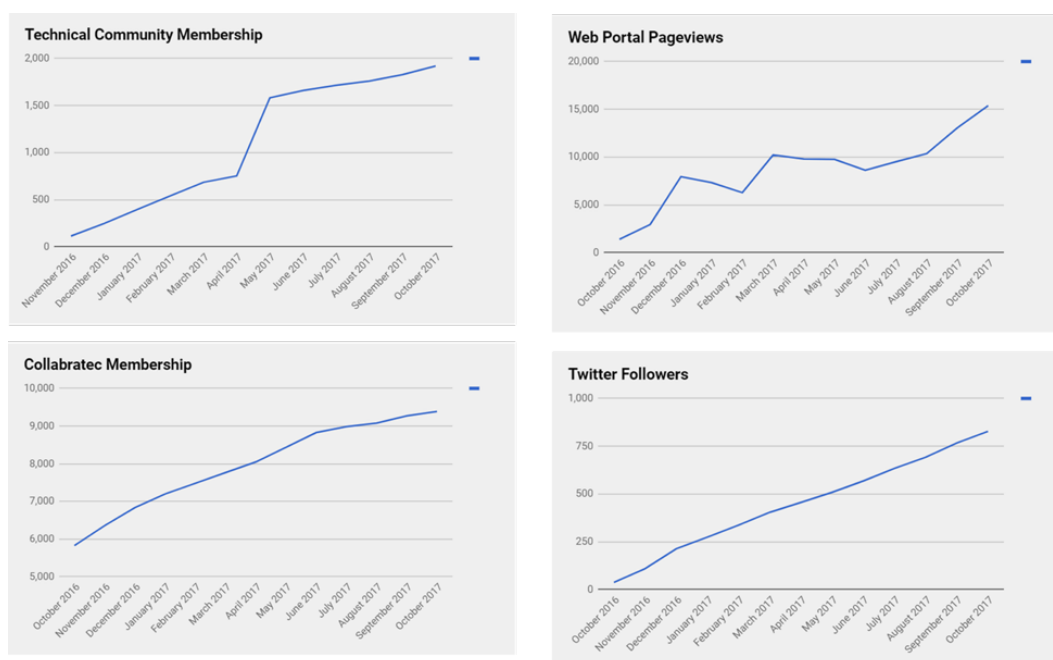


Figure 6
Snapshots of Community Development for IEEE 5G Initiative

Technology Roadmap

The IEEE 5G and Beyond Initiative Roadmap working group began work in 2017 to produce an industry technology roadmap that covers the entire ecosystem. A team of experts co-wrote a white paper that outlines the IEEE 5G and Beyond Technology Roadmap objectives and scope of topics, which are the following:

Applications and Services, Hardware, Massive multiple input, multiple out (MIMO), Millimeter Wave (mmWave), Edge Automation Platform (EAP), Security, Standardization Building Blocks, and Testbed. The roadmap will also address Satellite. This whitepaper was published in October 2107. Figure 6 shows Roadmap WG structure.

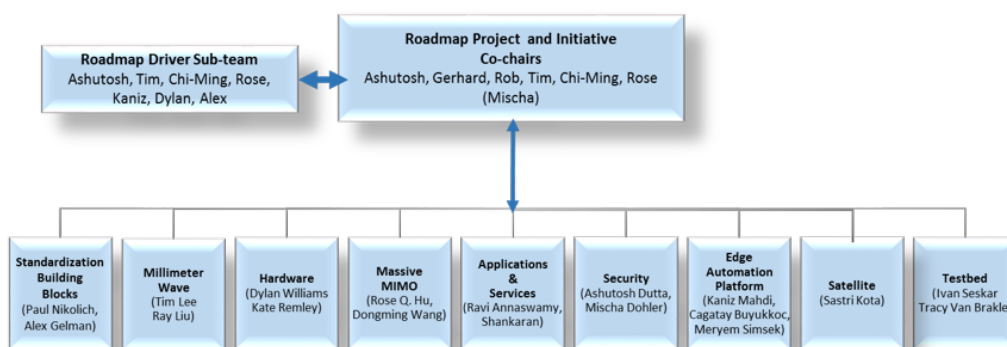


Figure 7
Roadmap WG Structure

The mission of the IEEE 5G and Beyond Technology Roadmap working groups is to identify short (~3 years), mid-term (~5 years) and long-term (~10 years) research, innovation, business, and technology trends in the communications ecosystem. In 2018, the 5G and Beyond roadmap effort will build on the Working Groups efforts and project the evolution from current to future state by engaging all sectors of the 5G community and collaborating with industry subject matter experts (SMEs), technologists, and researchers. From this activity, a set of common challenges, technology needs, and areas for solution sets and innovation will be developed. Each of these WGs will continue to meet regularly to discuss the work items and how the specific areas of work will contribute to 5G evolution. For example, 5G Applications and Services WG has been working on creating position papers across the various applications that will drive the 5G technologies. Team has worked on the following areas : Automotive Industry, Factory automation , Smart Cities , Power management, LTE Broadcast/Multicast , Emergency Communications/ Public safety , Healthcare, Smart Home , OSS/ BSS Impact and 5G Data Analytics.

The work done mainly focussed on Industry Trends, Key Drivers and Business Model Perspectives, Technology Requirements and Link to 5G, Needs from Verticals and the Major Technology Challenges. There are 11 position papers reviewed and ready to publish. We are working to get these published on IEEE 5G blog and also have a special newsletter edition based on these.

5G Applications working group meets every fortnight on Tuesdays and there is a strong participation of over 15 members from industry and academia and across the globe. Similar format will be followed up by other working groups.

Additionally, the roadmap teams will encourage public input at the end of the year with a public conference of roadmap presentations to strengthen the technology roadmap content before final release. Roadmap Whitepaper was published on October 3, 2017. As of 28 November 2017, there were 1107 views/downloads of the PDF of the Roadmap whitepaper. Roadmap WG has continued to organize Technology Roadmap workshops at IEEE ICC and Globecom conferences. In addition, Roadmap WG will continue to hold focused technology workshop for various technology verticals.

Standards WG

A variety of Societies within the IEEE are Sponsoring standards development activities that are directly related to the applications that will support the ultra-high bandwidth, ultra-low latency and ultra-low power requirements of next generation networking (aka 5G) applications such as networking vehicles, massive IoT and industrial automation.

Society Sponsors are the parent bodies for a variety of Working Groups that host the development of standard projects. An example is the Computer Society which hosts the Sponsor IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, which in turn hosts a number of Working Groups actively engaged in writing technical interoperability specifications in a wide range of standards projects. A specific example is Computer Society/IEEE 802 LAN/MAN Committee/IEEE 802.11 Wireless LAN Working Group/IEEE 802.11 ax High Efficiency WLAN Project.

The Standards Working Group Scope Included the following areas, 5G and Beyond Standardization Road Map, IEEE standards database, 5G and beyond technology components Standardization. The Road Map White Paper has been made available to wide audience, the database is in final stages of getting released. A number of Standards projects has been launched as a result of RRSA (Rapid Research Standardization Activities) sponsored by 5G Initiative and IEEE-SA. The projects are in relevant to 5G and beyond areas, such as SDN/NFV, Green ICT, IoT, FrontHaul Interfaces, Fog networking, etc. Newly created Standards Forum plans to work with all the 18 contributing societies and their standards representatives in order to help develop standards in the relevant technology areas. This forum will provide a platform where anybody in the world can bakeoff an idea related to 5G standards and then move it forward towards 5G standards development.

New Standards Development Sponsors have been created to govern these projects: COM/NetSoft-SC, COM/AcessCore-SC, COM/MobiNet-SC, COM/GreenICT-SC and COM/EdgeCloud-SC. Figure 7 shows a snapshot various 5G related standards that are under development within IEEE. One can refer to the following link to find out more details about 5G related standards, <https://5g.ieee.org/standards>.

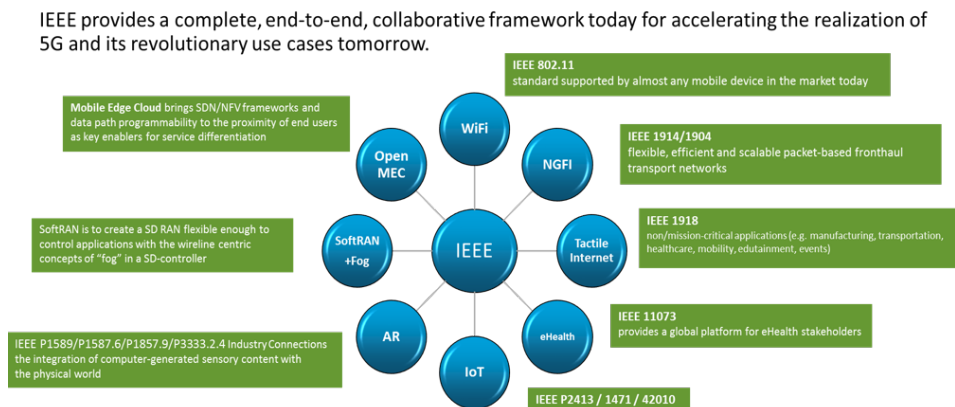


Figure 8
IEEE standards and global collaboration for 5G

Testbed WG

Following the successful IEEE 5G Roadmap Workshop at ICC, the IEEE 5G and Beyond Initiative organized a Testbed Workshop focusing on experimental testbeds on 5G and Beyond. This workshop took place in collaboration with 2017 VTC, on Sunday September, 24th 2017 in Toronto. The objective of this workshop was to bring together developers, practitioners, technical experts and researchers to share experiences and advance the state of the art in all aspects of 5G systems prototyping, evaluation and testing. The workshop also included contributions and promoted discussion on the novel methodological studies and experimental paradigms for future 5G testbeds and co-development and co-deployment of experimental platforms. Of particular interest are ideas on extending publicly available testbeds with 5G related technologies as they become available and how they can be used to address common technological and scientific problems that are related to advanced wireless systems.

The workshop covered a spectrum of distinguished speakers from all over the world who shared their experiences about building testbed and experimental results. They also highlighted how these testbeds can be used by IEEE 5G Community. Talks for this Testbed were streamed online and have been recorded for later viewing. These can be found at the following link, <https://5g.ieee.org/conferences/testbed-workshop-vtc>.

In order to provide open access to IEEE members so that they can conduct 5G related experiments, IEEE 5G Initiative started a new project called 5G open testbed consortium. As part of this program many of the 5G Testbed owners around the world will make their testbeds available for use by IEEE members. Rutgers WINLAB's ORBIT testbed is the first such testbed that is available for use by IEEE members. One can find the instructions of how to access the testbed to conduct these experiments at the following link. <http://www.orbit-lab.org/userManagement/register>.

IEEE 5G Initiative has also collaborated with IEEE SDN initiative to come up with SDN Catalogue of Toolkits and Testbeds.

This wiki provides an overview of existing toolkits, and (federated) testbeds in the area of Software Defined Network (SDN), Network Function Virtualization (NFV), and Mobile Edge Computing which can be used for building prototypes boosting the development of the 5th Generation of Mobile Networks. In particular, each section provides a brief overview about the standardization and standard de-facto activities currently ongoing, what is the main reference architecture, and which tools can be used for implementing a comprehensive solution. All of this is supported by the IEEE SDN Initiative Outreach group, led by Fraunhofer FOKUS, Technical University of Berlin, and University of Campinas.

Conference WG

In order to provide a platform for the industry leaders, innovators, and researchers from the industry and academic community to collaborate and exchange ideas in this emerging technology that may help in driving the standards and rapid deployment, IEEE 5G initiative's conference WG has focused on organizing workshops, summits, and conferences in various parts of the world.

In order to engage industry members with high value and innovative 5G technologies at a local level throughout the globe, IEEE 5G initiative has been collaborating with IEEE Communications Society and IEEE MTT to hold a series of high impact one day Summits in 5G area. So far, thirty 5G Summits have been organized in various parts of the world with an attendance of 5000 onsite and online attendees and 400 speakers. By having these series of 5G summits, IEEE 5G initiative has been able to bring 5G technologies to various parts of the world who cannot otherwise interact with the 5G experts. More details about the 5G summits can be found at <https://5g.ieee.org/5g-summit>. Figure 8 shows the lists of 5G Summits organized at various parts of the world. Figure 9 shows the snapshot of first IEEE 5G summit that took place in Princeton University on May 26, 2015.

30 5G Summits, More than 5000 attendees (onsite and online), 400 Speakers, Streaming and Recording Archieved



Figure 9
30 5G Summits around the world



Figure 10
Glimpses of First IEEE 5G Summit at Princeton University, May 2015

The 2018 IEEE 5G World Forum (5GWF'18) in Santa Clara, California is a unique event for industry leaders, academics, and decision-making government officials. This event is designed to examine 5G technologies and applications for the benefit of society. This conference aims to bring researcher from industry, academia and research to exchange their vision as well as their achieved advances towards 5G, and encourage innovative cross-domain studies, research, early deployment and large scale pilot showcases that address the challenges of 5G. More details about this conference can be found at <http://ieee-wf-5g.org/>. In addition to this flagship event, Conference working group also plans to organize Regional 5G world congress at various parts of the world. One such event is being planned for December 2018 in Bangalore, India.

In future, IEEE 5G Initiative plans to organize Technology focused workshops in conjunction with various workshops. Focused workshops in the areas of mmwave, Massive MIMO, Edge Automation Platform, Applications, Security, Hardware, Testbed, Satellite and Standardizations will help progress the roadmap project further with new contributions in this area. Testbed workshop in conjunction with Fall IEEE VTC 2017 is one such example.

Industry Engagement

In an effort to engage Industry leaders from various verticals with the 5G and Beyond Initiative, Industry Engagement WG organized several 5G focused panels that are co-located with various conferences. This provided an opportunity to discuss 5G specific topics pertaining to standardization and deployment. In addition to involving Industry leaders, this also helped to debate some of the burning points. As a result of these series of engagement, we have also formed Industry community that serve as a pool of resources for various 5G related activities. This endeavor has established a framework that will allow liaison between Industry professionals and IEEE 5G community.

Future Activities

As 5G technologies continue to evolve it becomes imperative for IEEE 5G and Beyond Initiative to involve the relevant IEEE societies more thoroughly and find opportunities for greater collaboration. The Roadmap work will continue to progress technically with relevant 5G use cases, by mapping of 5G technologies to different verticals where these could be applied. In this regard Roadmap WG plans to organize many technical workshop at working group levels and solicit feedback from various SDOs such as 3GPP, NGMN, 802.11, and ITU etc. IEEE FDC is currently looking into rebranding the current initiative to include the work around massive connectivity and as it applies to 5G and beyond technologies. This will help align the Initiative's work with the evolving 5G and beyond technologies. In addition to proposed plans for roadmap working group, the Initiative will continue to make progress on Education by conducting additional tutorials, webinars, Summer schools. Publications WG will continue the trend with Tech Focus in additional areas such as Testbed, Security, Applications and will work with other societies to bring forth special issues either through magazines or journals. As part of Community Development work we hope to see an increasing trend in participation from different parts of the world. Content development WG will focus more on 5G use cases and deployment strategies for various verticals including automotive, ehealth, operators, remote surgery, connected cars, and tactile Internet. Standards WG will focus on making the 5G Standards Database available to the community and will continue with the Standards Forum meeting to involve additional societies for standards development in 5G areas. This will provide an umbrella under which 5G standards will continue to evolve covering many societies within IEEE. The initiative will find every opportunity to involve Industry leaders by organizing 5G panels in specific topic areas at appropriate conferences, workshops. Conference WG will continue to collaborate on 5G summits around the world and organize focused technical workshops for various Roadmap technology areas. In addition to the 1st IEEE 5G World Forum, the Conference WG plans to organize regional IEEE 5G World Congress in each continent in order to make the 5G technologies and deployment more customized to the local environment. Finally, as the relevant societies continue to evolve 5G related technologies as part of this eco system, it is important to create an open Testbed platform that will allow IEEE members and contributors to continue 5G related experiments for different 5G use cases. This experimental testbed consortium will complement the technology development efforts carried out by roadmap WG and will allow the members to continue with proof-of-concepts for many 5G. This will give an opportunity to blend theory and practice and will help accelerate the standardization and deployment of 5G and beyond technologies.

Getting Involved

The IEEE 5G Technical Community includes researchers, scientists, and engineers from industry, academia, and governments around the world working together to solve the challenges associated with the development and deployment of 5G. The community is a collaborative effort, bringing

interdisciplinary exchange from a wide range of professional expertise and practical application knowledge.

Membership in the IEEE 5G Technical Community is complimentary, and you are invited to join and participate.

As an active member of the IEEE 5G community, you will have access to key information resources – including the IEEE 5G web portal, eNewsletters, conferences, educational opportunities, publications, standards development, and more. All of these components will help you stay abreast of new developments in this multi-disciplinary technology and keep you at the forefront of the research, development, planning, and deployment of 5G.

Visit the IEEE 5G Initiative web portal at 5g.ieee.org and get involved today with various aspects of 5G and beyond.

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the input and efforts from steering committee members, Roadmap WG chairs, IEEE FDC staff and Interprose for providing valuable input for this article. In particular, authors would like to appreciate the input from Tim Lee, Rob Fish, Chi-Ming Chen, Rose Hu, Mischa Dohler, Alex Gelman, Paul Nikolich, Theresa Cavrak, Elora Ponter, Harold Tepper, Ravi Annaswamy, Linda Wilson, Renee Ayer, Susan Brooks and Adam Greenberg. Last but not the least authors would like to thank Roberto Saracco for giving an opportunity to write a report about IEEE 5G and Beyond Initiative.

Bibliography

Webinars

Wednesday, June 21, 2017 at 11am EST - 5G: What Is It and What New Applications are Driving its Formation? Presented by Robert W. Heath Jr., PhD., P.E., IEEE Fellow and Cullen Trust Endowed Professor, Dept. of Electrical and Computer Engineering, the University of Texas at Austin

Thursday, July 20, 2017 at 11am EST - A Look at the Companies and Organizations Working to Make 5G a Commercial Success presented by Daryl Schoolar, a senior industry analyst and Practice Leader for Next Generation Infrastructure at Ovum.

Wednesday, September 20, 2017 at 11am EST - 5G mmWave Revolution and New Radio presented by Amitava Ghosh, Nokia Fellow and Head of Small research, Nokia Bell Labs

Thursday, October 19, 2017 at 11am EST - 5G and Satellite Spectrum and Standards presented by Geoff Varrall, Director RTT Programmes

Wednesday, November 8, 2017 at 11am EST - 5G Technology is Fantastic, But Can We Afford It? presented by William Webb, CEO Webb Search

Tech Focus Articles for 2017

- **December 2017**
 - [Adding Value to 5G Ecosystem by Joint Innovation](#)
 - [Driving UK's 5G Agenda - Strategy & Case Studies](#)
 - [Multi-Access Edge Computing: An Overview of ETSI MEC ISG](#)
 - [From Standards to Service - the European Way to 5G](#)
- **September 2017**
 - [5G "On the Fly"](#)
 - [The Emergence of Experience Packages in the 5G Era](#)
 - [LTE Goes Unlicensed: How the 5G Era Changes the Way We Use Spectrum](#)
 - [Web 5G](#)
- **June 2017**
 - [Cellular V2X as the Essential Enabler of Superior Global Connected Transportation Services](#)
 - [V2X Communication for ITS - from IEEE 802.11p towards 5G](#)
 - [NOMA in 5G Systems: Exciting Possibilities for Enhancing Spectral Efficiency](#)
 - [Standards for 5G and Beyond: Their Use Cases and Applications](#)
- **March 2017**
 - [5G Channel Model with Improved Accuracy and Efficiency in mmWave Bands](#)
 - [Massive MIMO for 5G](#)
 - [Ultra-Dense Networks \(UDNs\) for 5G](#)
 - [Towards 5G Network Slicing - Motivations and Challenges](#)

Content Development

- **IEEE Talks 5G**
 - [IEEE Talks 5G: Three Questions for Gerhard Fettweis](#) Published: Jan 26, 2017, 244 pageviews
 - [IEEE Talks 5G: Alex Wyglinski](#) Published: Feb 28, 2017, 242 pageviews
 - [IEEE Talks 5G: James Irvine](#) Published: March 22, 2017, 164 pageviews
- **IEEE 5G Transmissions: Podcasts with the Experts**

Through our podcast series, the IEEE 5G Initiative interviews some of the top subject matter experts in the 5G field. Covering many topics including implementation challenges and connecting the disconnected, IEEE 5G Transmissions: Podcasts with the Experts provides you with access to the industry's top subject matter experts.

- Podcasts are available on the portal, iTunes, Google Play Music, and plans are underway to include it on IEEE.tv.
- 5G Transmissions: What Challenges do you Foresee in the Deployment of 5G? Published: mid-January 2017, 167 downloads
- Included accompanying poll posted on Collabratec and Twitter
- 5G Transmissions: What is Your Boldest Vision of What 5G Can Bring Us? Published: March 31, 2017, 74 downloads
- 5G Transmissions: The Future of Mobile Beyond 5G Part 1 (Mischa Dohler) Published: August 23, 2017, 122 downloads
- 5G Transmissions: The Future of Mobile Beyond 5G Part 2 (Mischa Dohler) Published September 26, 2017, 65 downloads
- 5G Transmission: The Main Transformative Aspects of 5G (David Soldani) - Published On November 6, 2017, 166 downloads

External Articles

- Futurism - Will Wireless Connections Between Autonomous Vehicles Make Them Safer? By Alex Wyglinski, Published: August 22, 2017
- ECN Brainstorm: How to Best Handle the Connected Car's Network Strain, Alex Wyglinski, Published: August 7, 2017

Press releases:

- 10/04/2017: New IEEE 5G and Beyond Technology Roadmap White Paper Published
- 3/16/17: IEEE 5G Summit in Kolkata to Look at "Digital India" and Possibilities for Connecting the Unconnected in 5G Rollout
- 2/24/17: New IEEE 5G Activities Designed to Help Connect Unconnected and Fuel Decades Long Innovation Wave

IEEE 5G Initiative Overview Video

- Located here: <https://5g.ieee.org/about/overview>
- Will be updated in early 2018 to reflect new logo and messaging

Biography

Ashutosh Dutta is currently Principal Member of Technical Staff at AT&T Labs in Middletown, New Jersey. His 30 years of career includes Director of Technology Security at AT&T, CTO of Wireless at NIKSUN, Senior Scientist in Telcordia Research, Director at Columbia University, adjunct faculty at NJIT, and Computer Engineer with TATA Motors. He has published a book, 90 publications, three book chapters, and 30 issued patents. Ashutosh currently serves as the Director of Industry Outreach and Distinguished Lecturer for IEEE Communications Society and served as founding co-chair for IEEE 5G initiative. Ashutosh has a Ph.D. in Electrical Engineering from Columbia University, New York.

Email: ad37@caa.columbia.edu

Gerhard P. Fettweis co-heads the 5GLabGermany, the Barkhausen Institute, and 2 German science centers. He co-chairs the IEEE 5G Initiative. He is an IEEE Fellow, a member of the German Academy of Sciences ("Leopoldina") and the German Academy of Science and Technology ("acatech"), has been a Distinguished Speaker of IEEE Societies, and has received awards including a Dr.h.c. from TU Tampere, ComSoc's Harold Sobol Award, and the VDE Medal of Honor. He ran a TwinLab with Masdar Institute, Abu Dhabi.

Since 1994 he has been the Vodafone Chair Professor at TU Dresden, Germany.

Email: gerhard.fettweis@tu-dresden.de

5G beyond radio access: a flatter sliced network

David Soldani

Sommario

Questo articolo descrive i principali scenari di utilizzo e i relativi requisiti tecnici per il 5G, presentando le diverse opzioni architetturali, tecnologie abilitanti, le bande spettrali definite dal 3GPP e le relative roadmap. Vengono affrontati sia gli aspetti radio (copertura, capacità, latenza e affidabilità) sia quelli della core network (slicing, architetture, protocolli). Viene illustrato in dettaglio la differenza tra LTE e 5G, sia a livello radio che a livello rete core. Inoltre viene sottolineato come con il 5G il Total Cost of Ownership (TCO) scenda sostanzialmente e come si creino nuove opportunità di ritorni, specialmente nel settore business to business (B2B), in particolare con offerte di Network Slice come Servizio (NSaaS) a prezzi competitivi per una varietà di settori verticali.

Abstract

This article defines what 5G is, the main usage scenarios and related technical requirements. It also presents the different architecture options, key enabling technologies and spectrum bands specified by 3GPP, and roadmap for the different 3GPP releases. It then introduces the main technology components, end to end, and key functionalities of New Radio (NR), Next Generation Radio Access Network (NG-RAN) and 5G Core (5GC). The NG-RAN performances, in terms of coverage, capacity and latency and reliability with respect to LTE (3GPP Release 14 and previous releases), are also discussed. This is followed by a deep dive into 5G slicing concepts, architectures, protocols and procedures for the composition, embedding, commissioning, setup and teardown of network slice instances, from terminals to external data networks. As a part of this framework, the new aspects of QoS management at flow level, end to end, are also described. The 3GPP Phase 1 (Release 15)

specifications for enhanced Mobile Broadband (eMBB) are completed in the second half of 2018. The descriptions of 3GPP Phase 2 (Release 16) work items, with more functionalities for Ultra-Reliable Low Latency Communications (URLLC) and Massive Machine Type Communications (mMTC) and additional architecture options, are made available in the first half of 2020. Other 3GPP releases with further enhancements and support of frequency bands above 40 GHz will follow. 5G systems are expected to be deployed at 3.5 GHz reusing the same sites (radio grid) as LTE at 1800 MHz. In 3GPP R15, 5G NR supports band from 400MHz to 40GHz, provides 10-20 times better cell capacity than LTE, and latency below 10 ms, being 1ms the target of NR, depending on the protocol layer split between Radio Unit (RU) and Radio Control Unit, i.e. the deployed fronthaul interface. Service oriented architecture, Shared Data Layer (SDL), and terminal assisted network slicing are also supported with the introduction of 5GC in a standalone (SA) configuration. 5G slicing enables new information and role models, and network multitenancy using a single physical infrastructure. With 5G the total cost of ownership (TCO) plunges substantially and new sources of revenues, especially for business to business (B2B), surge significantly, as communication service providers have an easy way to offer Networks Slice as a Service (NSaaS) at competitive price to their tenants from a variety of vertical sectors.

Keywords: 5G, Spectrum, SDN, NFV, NSaaS, Slicing, Computing, mMIMO, Management and Orchestration, Multi-connectivity, New Radio, 5GC, NG-RAN

1. What is 5G?

5G defined as the International Mobile Telecommunications (IMT) for 2020 and beyond (5G) will expand and support diverse usage scenarios and applications with respect to current mobile network generations, purposed primarily for voice, mobile internet and video experience.

The agreed scenarios for 5G include: 1) “Enhanced mobile broadband (eMBB)” addressing human-centric use cases for access to multimedia content, services and data; 2) “Ultra-reliable-low latency communications (URLLC)” with strict requirements, especially in terms of latency and reliability; and 3) “Massive machine type communications (mMTC)” for a very large number of connected devices and typically transmitting a relatively low volume of non-delay-sensitive information [1].

5G technologies will efficiently enable new secure, dependable, ultra-reliable, and delay-critical services to everyone and everything, such as cognitive objects and cyber physical systems. To realize this vision, 5G capabilities will include [2]: A new flexible and efficient wireless interface, access schemes, and

other enabling wireless and network technologies, as well as a new plastic network architecture, supporting multi-tenant and new role models. With network slicing, different end-to-end logical networks with isolated properties are provided and operated independently [3]. These enable operators to support different use cases, with devices able to connect to multiple slices simultaneously, and monetize network slice instances as a service [4].

Two architectures options are possible [5], [6]: The radio access will be based on New Radio (NR) in a *Stand-Alone* (SA) configuration of 5G systems - Devices, Next Generation (NG) Radio Access Network (NR), NG Core (or 5GC) - or Non-Standalone (NSA) NR in an Evolved Packet System (EPS), which is a dual connectivity 5G System deployment with an Evolved-UTRA, as the anchor Radio Access Technology (RAT), and NR as the secondary RAT, in a non-standalone configuration in Evolved Packet System. The different architecture options are illustrated in Figure 1.

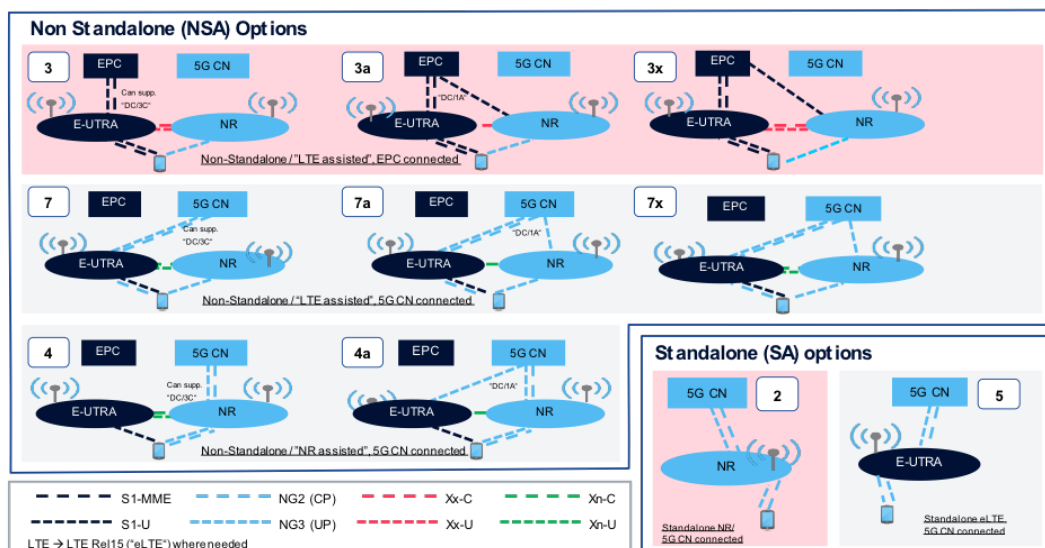


Figure 1
5G Network architecture options: NSA and SA. (© Nokia 2018)

A high-level view of the 3GPP roadmap is depicted in Figure 2. 3GPP has defined two phases for the 5G system standardization: 5G Phase1, or 3GPP Release 15 (R-15), will be finalized during 2Q 2018; the 5G Phase 2, or 3GPP Release 16 (R-16), will be completed in 1Q 2020. In 3GPP R-15, the 5G Mobile System will support eMBB and some aspects of URLLC usage scenarios. In 3GPP R-16, the 5G NR will be enhanced with additional features for eMBB, URLLC and mMTC, currently left for further studies. As of today, in 3GPP, there is a strong industry interest in completing the Non-Standalone version of New Radio specifications, Option-3 family, by Dec 2017-Mar 2018, and in finalizing the Standalone 5G architecture, Option-2, by June-September 2018. All other architectures will be specified at later time.

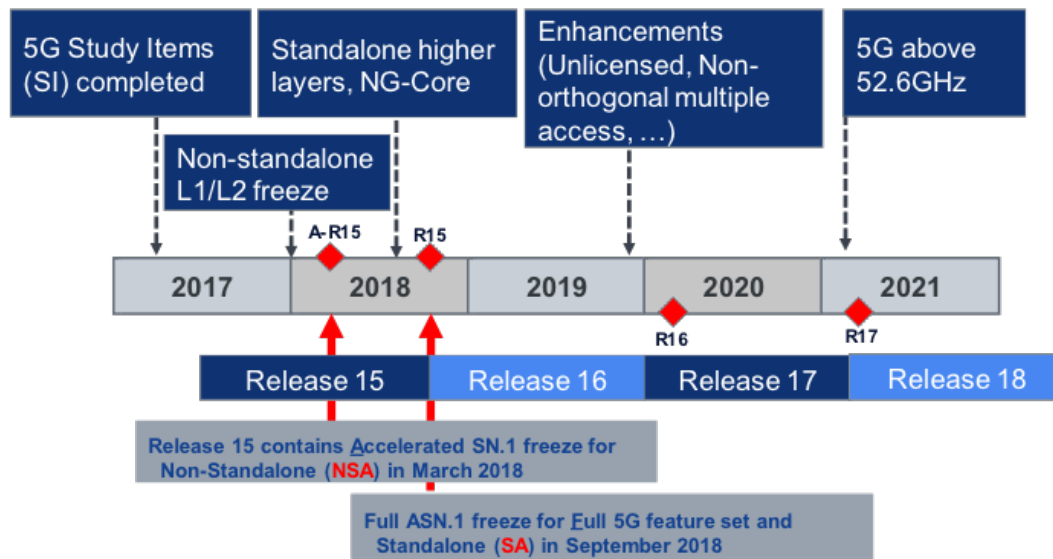


Figure 2
3GPP 5G releases timeline till 2022. (© Nokia 2018)

The main new technology components of 5G are shown in Figure 3: New spectrum; Massive MIMO (mMIMO) beamforming; Network slicing; Multi-Connectivity; and cloud and edge computing [2], [7].

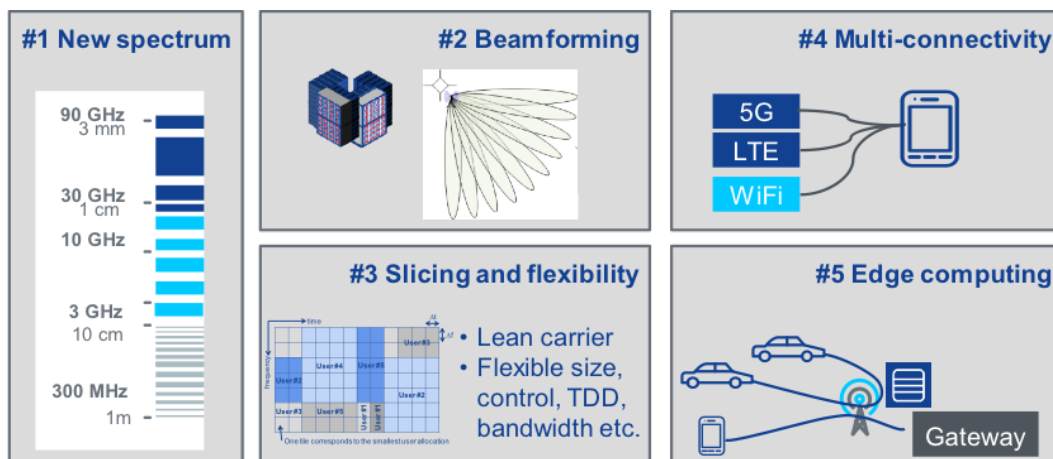


Figure 3
The key 5G enabling technologies [2]. (© Nokia 2018)

1.1 Wireless technologies

5G is expected to increase spectrum efficiency and support contiguous, non-contiguous, and much broader channel bandwidths than available to current mobile systems. 5G radio will be the most flexible way to benefit from all available spectrum options from 400 MHz to 90 GHz, including licensed, shared access and license exempt bands, FDD and TDD modes, including Supplementary Uplink (SUL), as well as narrowband and wideband Carrier Components (CC). The recently approved 3GPP New NR bands (n) in Frequency Range 1 (below 6GHz) and Range 2 (mmWave) are depicted in Figure 4. The LTE re-farming bands will use LTE numbers with n prefix. The 37-40GHz band will be also to defined by the 3GPP.

	Band number	UL	DL	Duplex mode
Range 1	n77	3.3 – 4.2 GHz	3.3 – 4.2 GHz	TDD
	n78	3.3 – 3.8 GHz	3.3 – 3.8 GHz	TDD
	n79	4.4 – 5.0 GHz	4.4 – 5.0 GHz	TDD
	n80	1710 – 1785 MHz	N/A	SUL
	n81	880 – 915 MHz	N/A	SUL
	n82	832 – 862 MHz	N/A	SUL
	n83	703 – 748 MHz	N/A	SUL
Range 2	n84	1920 – 1980 MHz	N/A	SUL
	n257	26.5 – 29.5 GHz	26.5 – 29.5 GHz	TDD
	n258	24.25 – 27.5 GHz	24.25 – 27.5 GHz	TDD
	n259	31.8 – 33.4 GHz	31.8 – 33.4 GHz	TDD

Figure 4
Examples of 3GPP 5G approved bands

Millimeter wave spectrum above 20 GHz can provide bandwidth up to 1-2 GHz, which offers data rates up to 20 Gb/s and extreme mobile broadband capacity. The high bands are mostly suitable for local usage, such as mass events, indoor and outdoor hotspots and for Fixed Wireless Access (FWA).

Spectrum at 3.5 GHz, 4.5 GHz and 4.9 GHz will be used for 5G coverage and capacity in urban areas reusing the existing sites. At those frequencies, the bandwidth can be up to 100 MHz per operator, and even up to 200 MHz with the re-farming of some of the existing bands. As shown in Figure 5, the 5G coverage at 3.5 GHz, when using mMIMO beamforming, can be like LTE at 1800 MHz. The expected uplink gap (≈ 3 dB) in link budget can be compensated by sharing the LTE band with NR (NR-LTE multiplexed in frequency domain in uplink FDD mode, and 5G at 3.5 GHz in downlink TDD model; or NR-LTE overlapping transmission in uplink using the LTE band and TDM between LTE and NR).

Low bands, below 1 GHz, are needed for wide area rural coverage, for ultra-high reliability and for deep indoor penetration. Extensive coverage is important for new use cases such as IoT and critical communication. The low band could be 700 MHz, which is available in many countries, or 900 MHz, today mostly used by 2G and 3G systems. In the USA, another option for 5G low band is 600 MHz [2].

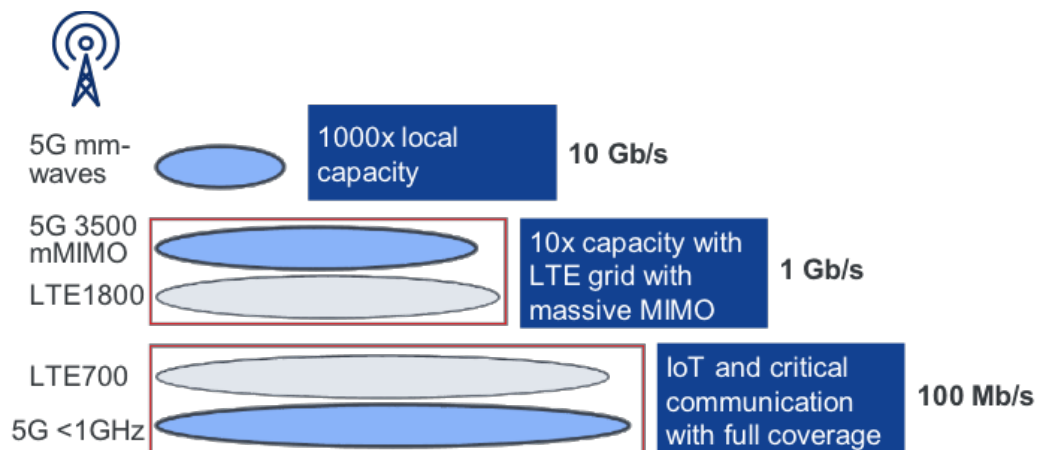


Figure 5

5G Coverage footprint: Combination of low and high bands. (© Nokia 2018)

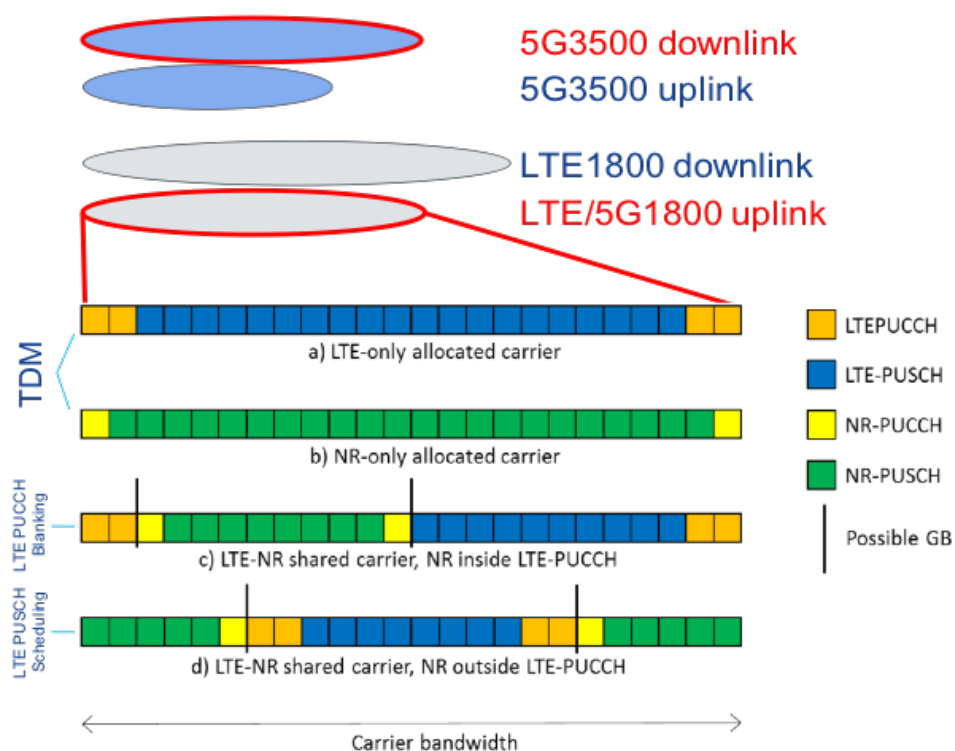


Figure 6

Low band FDD for coverage (uplink sharing) and 3.5 GHz TDD for capacity. (© Nokia 2018)

The new 5G radio is for all spectrum options. To this end, 5G supports a *flexible numerology*, which consists of different *Sub Carrier Spacing* (SCS), *nominal Cyclic Prefix* (CP), and *Transmission Time Interval* (TTI), or *scheduling interval*, depending on bandwidth and latency requirements. An overview of the 5G numerology is shown in Figure 7. Sub-carrier spacings of 15 kHz to 120 kHz, and the corresponding cyclic prefix of 4.7 to 0.6 μ s and scheduling interval of 1 ms to 0.125 ms, are defined for different *Carrier Components* (CC), which may vary from 5 MHz to 100MHz, below 6GHz, and from 50 to 400MHz, above 6GHz [7].

Numerologies with normal CP (subframe = 1ms)

Parameter	Slot Configuration 0						Slot Configuration 1		
Subcarrier spacing [kHz]	15	30	60*	120*	240**	480	15	30	60
OFDM symbol duration [us]	66.7	33.3	16.6	8.33	4.17	2.08	66.7	33.3	16.6
Nominal CP [us]	4.7	2.41	1.205	0.60	0.30	0.15	4.7	2.41	1.205
Nominal max BW [MHz]	49.5	99	198	396	397.4	397.4	49.5	99	198
Max FFT size	4096	4096	4096	4096	2048	1024	4096	4096	4096
Min scheduling interval [symbols]	14	14	14	14	14	14	7	7	7
Min scheduling interval [slots]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Min scheduling interval [ms]	1.0	0.5	0.25	0.125	0.0625	0.0312	0.5	0.25	0.125

* 1st Product; ** Synchronization Signal (SS) Block

a)

Numerologies with extended CP (subframe = 1ms)

Subcarrier spacing [kHz]	Symbol Duration [us]	Ext CP [us]	Nom max BW	FFT Size	Scheduling Interval [sym]	Sched Interval [slot]	Scheduling Interval [ms]
60	16.6	4.2	198	4096	12	1	0.25

b)

Figure 7

*5G numerology overview with 1ms subframe: a) Normal CP; b) Extended CP.
(© Nokia 2018)*

For optimal radio performance, the higher the carrier frequency, the higher the allowed carrier component and subcarrier spacing, the lower the corresponding cyclic prefix and scheduling period. If we consider a typical 5G deployment at the 3.5 GHz band, the bandwidth could be 40-100 MHz, the subcarrier spacing 30-60 kHz and minimum scheduling period 0.125 ms. The corresponding numbers in LTE are 20 MHz bandwidth, 15 kHz subcarrier spacing and 1 ms scheduling period. If the slot length is more than 0.125 ms in the narrowband cases and low latency is required, then so called 'mini-slot' can be used in 5G, where the transmission time may be reduced to 2, 4 or 7 OFDM symbols. It is also possible to combine multiple slots together.

Massive MIMO (mMIMO) will be an integral part of 5G from day one, including common and control channels with beam forming and tracking. With mMIMO the *number of transmitting antenna elements is much higher than the number of MIMO streams* (layers). In practice, mMIMO means that the number of controllable antenna elements is more than eight.

5G radio supports 8 Layer Single User (SU)-MIMO or 16 Layer Multi User (MU)-MIMO in the downlink, and 4 Layer SU-MIMO in the uplink, with the possibility of dynamic

switching in both directions. MU-MIMO means that parallel MIMO data streams (or layers) are transmitted to different users at the same time-frequency resources. A typical example of 16 Layers configuration is 2layer/UEx8UE MU-MIMO.

Beamforming (BF) offers the advantages that the same resources can be reused for multiple users in a cell: It allows Space Division Multiple Access (SDMA), maximizing the number of supported users within that sector: It minimizes interference and increases cell capacity. As a result, Massive MIMO and *Active Antenna Technologies* (AAT) give higher spectral efficiency and provide much more capacity on existing base station sites. The technology can also enhance link performance and increase the coverage area. 5G radio design is fully optimized for massive MIMO using three basic techniques for forming and steering beams [8], as illustrated in Figure 8:

- *Digital beamforming*, where each antenna element has a transceiver unit with the adaptive Tx/Rx weights in the baseband, enabling frequency selective beamforming. Digital beamforming boosts capacity and flexibility and it is mostly suited to bands below 6 GHz.
- *Analog Beamforming* implements only one transceiver unit and one RF beam per polarization. Adaptive Tx/Rx weighting on the RF is used to form a beam. This is best suited for coverage at higher mmWave bands and offers low cost and complexity.
- *Hybrid beamforming* is a combination of analog and digital beamforming. When some beamforming is in the analog domain, the number of transceivers is typically much lower than the number of physical antennas, which can simplify implementation, particularly at high frequency bands. This technique is suited to bands above 6 GHz.

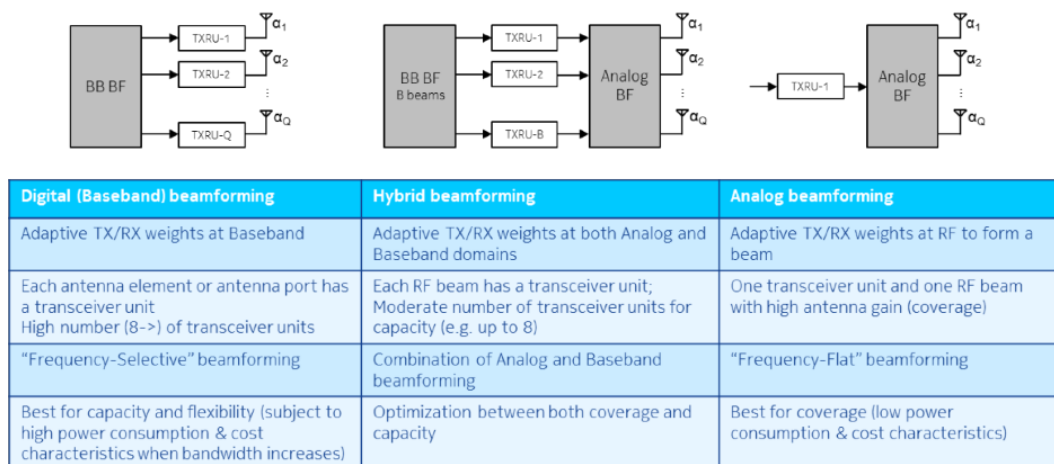


Figure 8

Digital, Analog, and Hybrid beamforming: Advantages and drawbacks. (© Nokia 2018)

The radio interface protocol stack is also optimized for cloud and distributed computing, with a flexible front-haul split, between high-layer protocols, i.e.

PDCP and RLC, and low layer (L1) peer entities, using the Enhanced Common Public Radio Interface (eCPRI). This will allow access providers to relax the transmission capacity and the utilization of Ethernet. For example, see Figure 9, assuming 100 MHz band, a 3-sector site with 64TX/RX mMIMO and 16 layers, the interface between the radio unit (RU) and edge cloud (radio access unit, RAU) requires: 1Tb/s with no split, using a CPRI interface; 150 Gb/s with low layer split and enhanced CPRI (eCPRI) interface; and 1-10 Gb/s with high layer split. The latency with low layer split is expected to be below 0.1 ms, as with CPRI; and 5 ms with high layer split, which is still satisfactory for most of the ultra-reliable low latency communications.

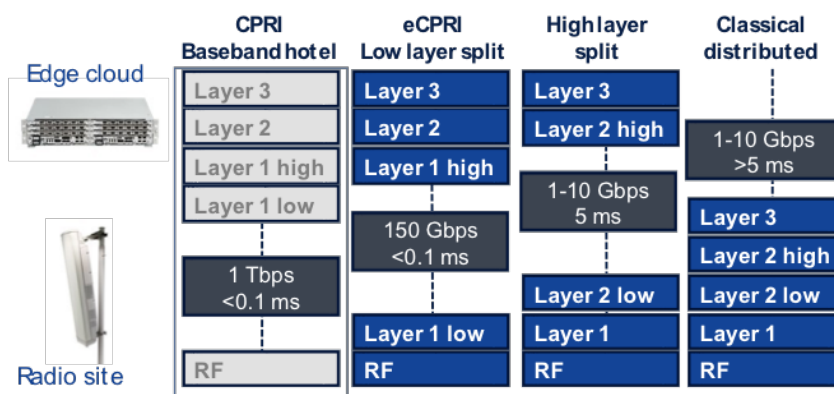


Figure 9

5G radio architecture options and performance for 100 MHz, 3-sector, 64TX/RX mMIMO, 16 Layers. (© Nokia 2018)

Compared to LTE1800 with 2x2 MIMO, as baseline, 5G gives 10-20x additional capacity, being 2-4 more spectrally efficient. For example, see Figure 10, LTE with 20MHz band achieves 40 Mb/s cell throughput, which corresponds to a spectrum efficiency of 2b/s/Hz; 5G with mMIMO beamforming at 3.5 GHz and 100MHz band reaches 400-800 Mb/s cell throughput, corresponding to a spectrum efficiency of 4-8 b/s/Hz.

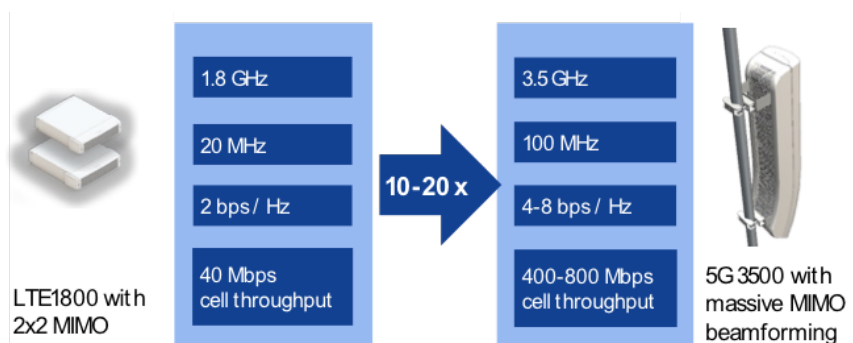


Figure 10

Example of 5G capacity gain with respect to LTE. (© Nokia 2018)

The radio interface latency with 5G is also dramatically reduced compared to previous releases. The target is 1 ms in idle and connected mode, with and without uplink allocated resources. 5G solutions to low latency are: Shorter transmission time interval, connected inactive state and contention based uplink.

1.2 Network technologies

5G is not only about radio! Additional benefits will come with the introduction of the 5G core (5GC), which supports many new enabling network technologies. Among other fundamental technology components, as depicted in Figure 11, the 5GC is characterized by a *layered and service oriented architecture*, with control plane (CP) and user plane (UP) split and *shared data layer* (SDL), for subscription, state and policy data [9]. It also supports [6]: *User plane session continuity*, while the terminal moves across different access points; *interworking with untrusted non-3GPP access*; a comprehensive *policy framework* for access traffic steering, switching and splitting; and *wireless-wireline convergence*.

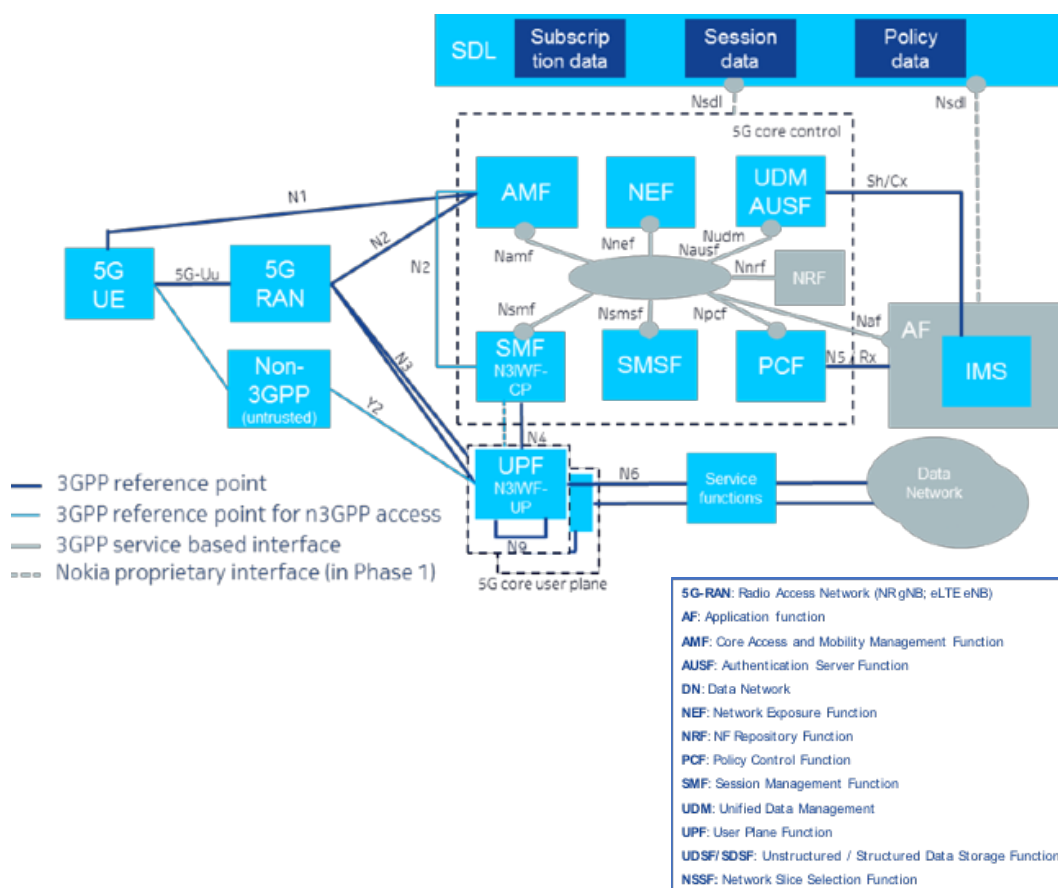


Figure 11
5G Core (5GC) overview [5]. (© Nokia 2018)

The separation of control and user planes provides deployment flexibility and independence. The distribution of core functionality, especially user plane, closer to the radio, i.e. to the edge cloud, enables the placement of applications closer to the end-user with improved throughput, reducing the transport network load, and latency, decreasing the physical distance and number of transport hops. The service based architecture – Including the related Network Repository Function (NRF) for 5GC control plane functions – allows flexible addition and extension of functions including the proprietary ones. The SDN to all network functions (and micro-services within the functions) enables common session resiliency and geo-redundancy models, and a shared interface for accessing all session data (e.g. for analytics). The 5GC is also agile to deploy new or updated functions in a “DevOps” style. The Network Exposure Function (NEF) enables the integration of telco functions with service providers, enterprises and operator’s own IT systems to create new use cases and opportunities to monetize. The core slicing and related Network Slice Selection Function (NSSF) enable a flexible assignment of users to different network slice instances that are tailored to different use cases. The 5GC also supports a unified subscriber management, authorization and authentication solution [9].

Other fundamental 5G enabling technologies, end to end, are: *Flow based QoS*, with a much higher level of granularity than LTE, which is currently limited to the bearer service concept; *multi-connectivity*, where the 5G device can be connected simultaneously to 5G, LTE, and WiFi, offering a higher user data rate and a more reliable connection; *terminal assisted Network Slicing*, and *E2E network management and orchestration*, with in-built support for cloud implementation and edge computing [6].

The 5G flow based QoS concept is illustrated in Figure 12. The Non-Access Stratum (NAS) packet filters associate IP Flows with QoS Flows in the UE (5G terminal) and User Plane Function (UPF). The *QoS flow identifier* (QFI) uniquely identifies the QoS flow and consists of the following parameters [6]:

- *5G QoS Identifier* (5QI): *Resource Type* (GBR/N-GBR), *Priority Level*, *Packet Delay Budget* (PDB) UE ↔ User Plane Function (UPF), and *Packet Error Rate* (PER);
- Allocation Retention Priority (ARP);
- *Guaranteed* (GFBR) and *Max Flow Bitrate* (MFBR) for GBR flows (UL and DL).

In the downlink, each UPF uses policies from PCF/SMF to identify flows and adds QFI tags, enforces Session-AMBR (Aggregated) and counts packets for Charging. Each UPF sets Reflective QoS (RQI) to activate Reflective QoS in the UE. The NG-RAN uses QFI tags and policies to map flows to one or more Data Radio Bearers (DRBs), and enforces the Max Bit Rate (UE-AMBR) limit per UE for non-GBR QoS flows.

In the uplink, the UE uses either signaling or “reflective” learning approach to derive the QFI policies to map QoS flows onto DRBs, and performs UL rate limitation on a PDU Session basis for non-GBR traffic, based on Session-AMBR value. The NG-RAN and UPF police QFI usage and enforces Max Bit Rate (UE-

AMBR) and Session-AMBR, respectively. The UPF counts the packets for charging.

The transport network layer QoS treats packets based on 5QI tags (e.g. using DiffServ). The mapping is based on Software Defined Networking (SDN) policies.

IP Flows are mapped onto QoS Flows, which are mapped onto one or more data radio bearers (DRBs). DRBs are associated to one PDU Session, which is mapped onto one S-NSSAI. The S-NSSAI is mapped onto one Network Slice Instance (NSI), i.e. one Network Slice; and the NSI is mapped onto a single Data Network Name (DNN). However, it is not true the vice versa, as described in the following text. This is how 5G handles the 5G flow based QoS within a given NSI [6].

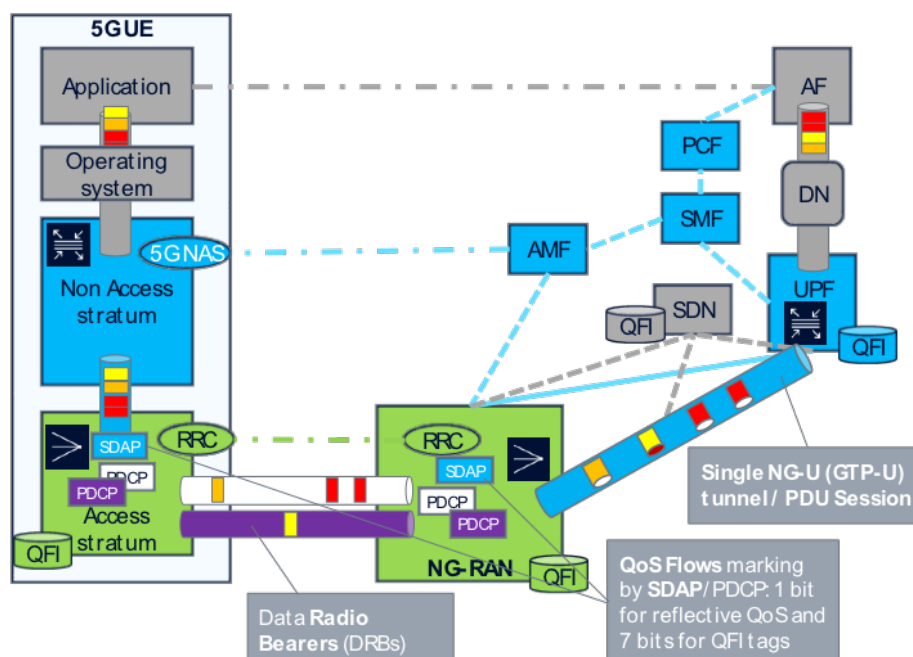


Figure 12

5G flow based QoS within a given Network Slice Instance [6]. (© Nokia 2018)

3GPP for terminal (UE) assisted network slicing defines a new parameter denoted as *Single-Network Slice Selection Assistance Information* (S-NSSAI). Each S-NSSAI assists the network in selecting a network slice instance. The S-NSSAI is composed by the following attributes:

- *Slice/Service Type* (SST): 1 (eMBB), 2 (URLLC), 3 (MIoT) are the standardized values for roaming; operator specific settings are also possible;
- A *Slice Differentiator* (SD): *Tenant ID*, optional, for further differentiation during the NSI selection.

The *Network Slice Selection Assistance Information* (NSSAI) consists of a collection of S-NSSAIs. Maximum eight S-NSSAIs may be sent in signaling messages between the UE and the Network.

The NSSAI is configured (*Configured NSSAI*) in the UE per *Public Land Mobile Network* (PLMN) by the *Home PLMN* (HPLMN). The terminal uses the *Requested NSSAI* (UE) during the *Registration Procedure* and the *Allowed NSSAI*, received from the Access and Mobility Function (AMF), within its *Registration Area* (RA). The RA allocated by AMF to UE has *homogeneous support for network slices* [10]. The 5GC supports *AMF level slicing* per UE type, and *SMF and UPF level slicing* per Service or per Tenant based on S-NSSAI and DNN. An example of three network slices for two terminal types is illustrated in Figure 13.

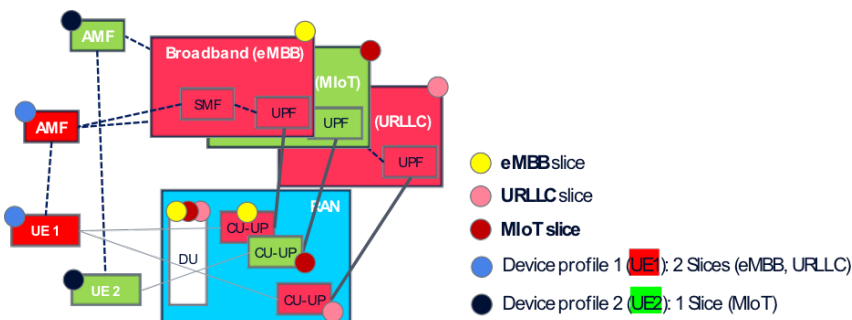


Figure 13

Example of three network slices with two different terminal types. (© Nokia 2018)

The NG-RAN is aware of the slice at PDU Session level, because the S-NSSAI is included in any signaling message containing PDU Session info. *Pre-configured slice* enabling in terms of NG-RAN functions is implementation dependent. An example of NG-RAN slicing is depicted in Figure 14. The medium access control (MAC) scheduling – based on radio resource management (RRM) policy related to the SLA in place for the supported slice and QoS differentiation within the slice – is vendor dependent [5].

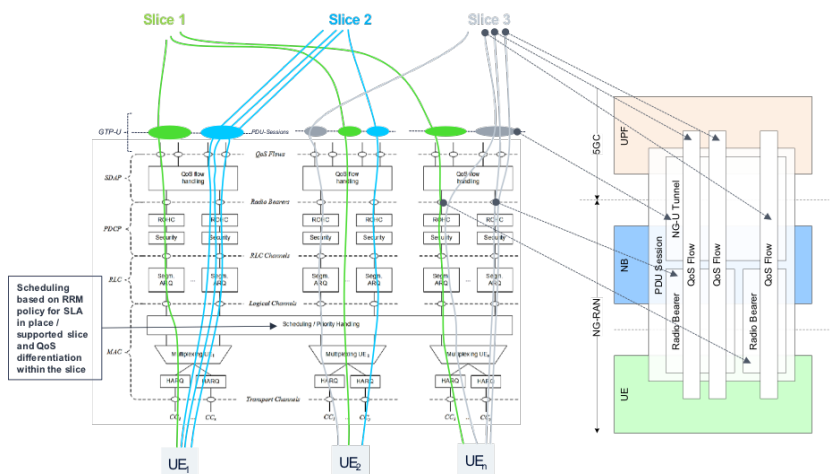


Figure 14

Example of three NG-RAN slices with different terminals and multiple PDU sessions and QoS flows. (© Nokia 2018)

The following NSSAI is exchanged between the UE and the network entities during the Registration procedure (S-NSSAI-A – DNN#A) [10], see Figure 15:

1. The configured NSSAI is provisioned in the UE based on *NS Selection Policy* (NSSP): Rules associating an App with a S-NSSAI and DNN linked to the App.
2. UE sends Registration Request message including the *Requested NSSAI*. RAN selects the AMF based on Requested NSSAI plus other criteria. 2'. Security is performed (not shown in the figure).
3. AMF fetches subscription data from UDM. UDM returns the Subscription data and Subscribed NSSAI to AMF.
4. AMF interrogates NSSF for Slice Selection. The NSSF returns set of NSI ID and Allowed S-NSSAI.
5. AMF sends Registration Accept/Complete (Allowed S-NSSAIs, 5G-GUTI, Registration Area, Mobility restrictions, etc.) to both NG-RAN and UE (NAS message, transparent to NG-RAN).
6. Subsequently, the UE uses the updated NSSAI, forwarding the list of Allowed S-NSSAIs.

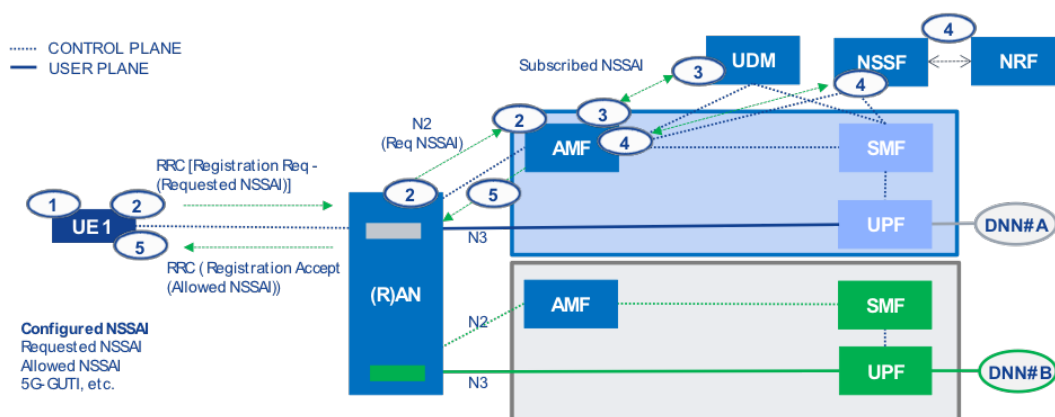


Figure 15

Network slice assistance information exchanged during the UE Registration procedure [6]. (© Nokia 2018)

The following NSSAI is exchanged between the UE and the network entities during the PDU Session establishment procedure (S-NSSAI-A – DNN#A) [10], see Figure 16:

1. UE start APP A, which is mapped onto S-NSSAI-A, and sends a PDU Session Establishment request for a given DNN and S-NSSAI.
2. NG-RAN sends a PDU session establishment to AMF (selected during the UE Registration).
3. AMF gets from Network Repository Function (NRF) the Session Management Function (SMF) for the given NSI and S-NSSAI.
4. AMF sends a Nsmf PDU Session Create Request to SMF.

- 1



0

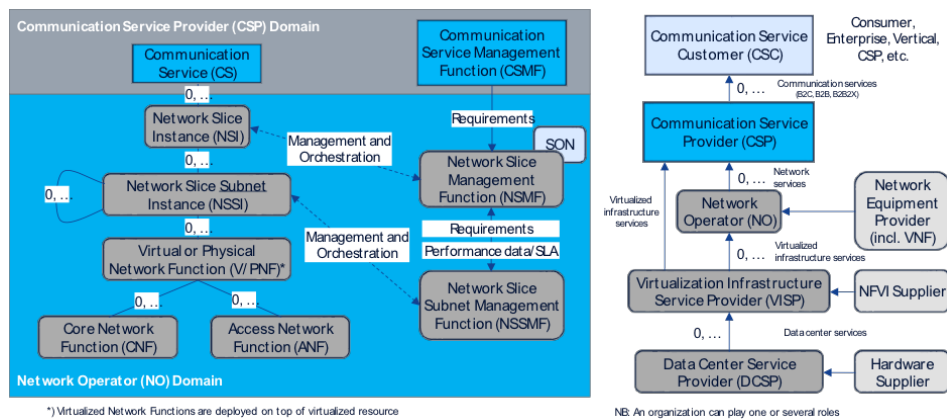


Figure 17
Network slicing: Information and role models [11]. (© Nokia 2018)

The new CSP offering, enabled by 5G Slicing, is **Network Slice as a Service (NSaaS)**. Like cloud computing SaaS, IaaS and PaaS models, the Communication Service Customer, i.e. the *Tenant*, may compose, order and pay one or more network slice instances based on its utilization; service level agreements (SLA), e.g. in terms of latency, throughput, and reliability; and value-added services (VAS), such as MMS, VoIP.

In practice, 5G will support three basic business models for network slicing, depending on the tenant's degree of slice control, which may go from **monitoring only** the KPIs related to the signed SLAs, **changing the configuration** of the deployed slice instances, to **chaining own physical/virtual network functions**, as resources and capabilities may be located in multiple domains or partners' domains or platforms.

Figure 18 shows how the partitioning model may be combined with the layering model to provide joint horizontal and vertical offerings. In slice partitioning, the *orchestration* of resources and capabilities, from an E2E service requirement perspective, must be *horizontally federated* (cooperation/collaboration), and *vertically coordinated* (hierarchy) through policies and standardized Interfaces/APIs. This combined view is also the foundation of the modeling principle of the TM Forum Platform concept [12].



Figure 18
Example of horizontal and vertical 5G slicing [12]. (© Nokia 2018)

2.1 5G solutions

The e2e 5G systems will consist of the following domains, from terminal (UE) to the Data Network (DN) and service applications, see Figure 19:

- **Terminals:** supporting Network Slice Selection Assistance Information, to request specific slice instances, based on the communication services in use.
- **Access:** eLTE/NR Radio Units with ethernet front-haul (eCPRI) or ethernet mid-haul for low latency and latency insensitive services, respectively.
- **Aggregation:** Radio Cloud with their own Software Defined Network Controller (SDN-C) and Virtual Infrastructure Managers (VIM).
- **Mobile core:** Core Cloud with own SDN-C and VIM interconnected to the Radio Clouds by IP routers and Wide Area Network (WAN) SDN-C.
- **Network Slice Management and Orchestration:** An E2E Service Orchestrator for the embedding of Network Service Descriptors (Network Connectivity topology and VNF forwarding graphs), on top of a Self-Organizing Network (SON) and VNF Manager functions.
- **Data Layer and Application Enablement:** E.g. IoT and Customer Experience Management (CEM) platforms for running applications on top of the different network slices for public safety, digital health, mobility, industry automation, smart cities, etc.

The network slice management and orchestration consists of the following steps, e.g. see [13]:

1. The CSP defines a **Network Service Descriptor** (NSD), which consists of two parts: **Network Connectivity Topology** (NCT) and **Virtual Network Function Forwarding Graph** (VNF-FG). The NCT specifies the VNF nodes that compose the network service and connection between them using Virtual Links (VLs). Each VL is connected to a VNF through a Connection Point (CP), which represents the VNF interface. The VNF Forwarding Graph (VNF-FG), which is established on top of the network connectivity topology, is composed of network Forwarding Paths (FPs), i.e. ordered lists of CPs that form a VNF chain.
2. The **end to end Service Orchestrator** (E2E SO) instantiate the network slice, end to end, based on the NSD via its southbound-interfaces: 1) It gets the optimal resources location from SON function, and asks the WAN SDN-C to instantiate WAN SDN-connections between data centers. 2) It asks VIM to reserve the virtual resources and instructs the data center SDN-C to establish the internal data center links. 3) It commands the Virtual Network Function Manager (VNFM) to a) instantiate each VNF and b) apply the pre- and post-installation scripts to complete the commissioning of the VNF. 4) Ultimately, it requests the NM/EM to configure PNFs and VNFs. (Not shown in see Figure 19).
3. The Network Slice Selection Function (NSSF) binds the CPs, NSSAI and NSI-ID for the network slice selection during the terminal Registration and PDU Session Setup, as depicted in Figure 15 and Figure 16.

Artificial Intelligence, in terms of descriptive, predictive and prescriptive analytics, will find application in three main areas:

- **SON**: Key capabilities / algorithms / architecture attributes within the different domains (RAN, Core, Transport etc.) to enable the right flexibility and tradeoffs for operators to efficiently exploit slicing; see e.g. [14];
- **Data and application layers**, i.e. big data analytics (structured data analytics, text analytics, web analytics, multimedia analytics, network analytics, mobile analytics), and
- **Data-layer platforms** for IoT and Customer Experience Management (CEM).

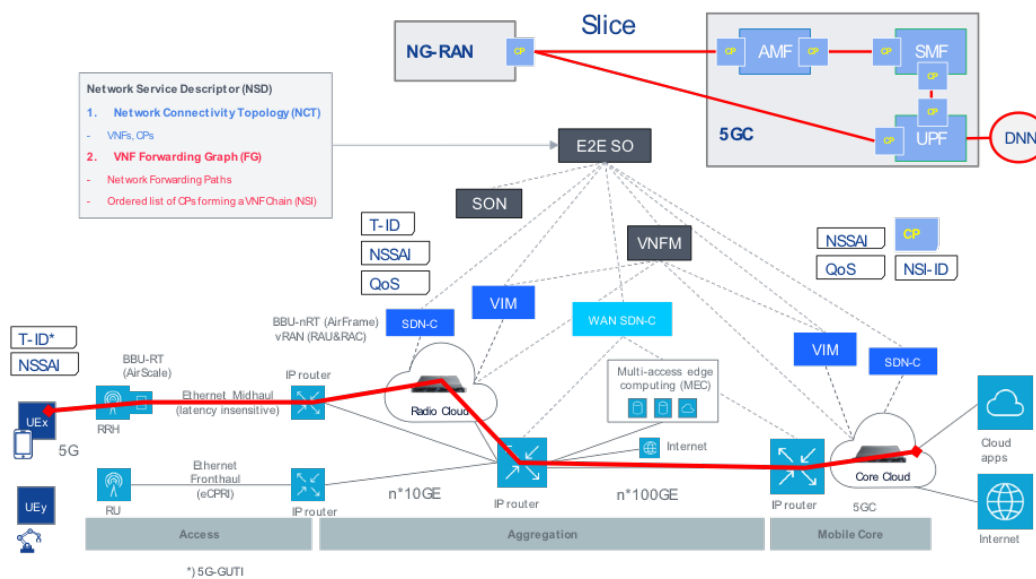
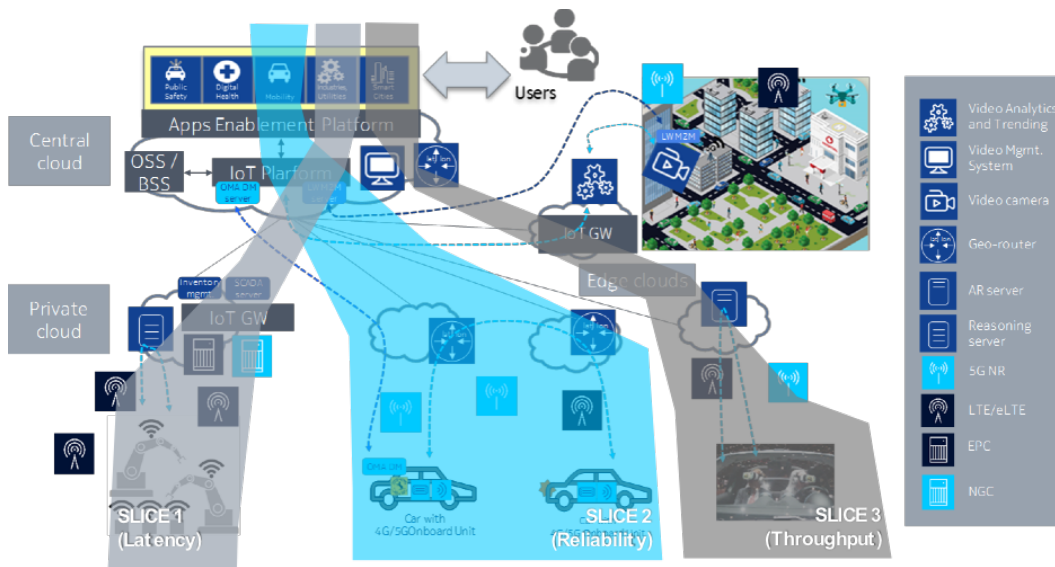


Figure 19
Example of 5G solution to end to end network slicing. (© Nokia 2018)

Figure 20 shows an example of 5G systems deployment. For other relevant scenarios see, for instance, [15]. The system consists of NG-RAN, 5GC, in a SA or NSA configuration with or without EPC; and IoT Platform and, especially, an Application Enablement Platform (AEP) on top, where verticals (tenants) may install and run own applications.

A Tenant Graphical User Interface (GUI) and an Operation GUI allow the communication service provider to flexibly offer network services to customers (tenants) and instantiate slices through automation. Moreover, the Tenant GUI allow them to place orders and monitor the key performance indicators (KPIs) linked to the signed SLAs with the corresponding CSP.

**Figure 20**

Example of NaaS for three verticals, industry process automation, automotive and smart city, with different SLA, in terms of latency (Slice 1), reliability (Slice 2) and throughput (Slice 3), respectively. (© Nokia 2018)

3. Conclusions and future developments

To realize the 5G vision presented in this paper, spectrum must be made available first, global standards (especially 3GPP technical specifications, but not limited to) next, and regulations must follow. It is also necessary a massive investment from Industry, especially from Connectivity Service Providers (Operators).

The assumptions and views reported herein are solely those of the author, and do not necessarily represent those of Nokia.

Bibliography

- [1] 3rd Generation Partnership Project, "Study on scenarios and requirements for next generation access technologies," 3GPP TR 38.913.
- [2] Nokia white paper: "5G Technology Components" <https://networks.nokia.com/innovation/5g>
- [3] Nokia white paper: "Dynamic end-to-end network slicing for 5G white paper" <https://networks.nokia.com/innovation/5g>
- [4] Nokia white paper: "Translating 5G use cases into viable business cases" <https://networks.nokia.com/innovation/5g>
- [5] 3rd Generation Partnership Project, "NR and NG-RAN overall description; Stage 2," 3GPP TS 38.300.
- [6] 3rd Generation Partnership Project, "System architecture for the 5G system; Stage 2," 3GPP TS 23.501.
- [7] 3rd Generation Partnership Project, "Study on New Radio (NR) access technology," 3GPP TR 38.912.

- [8] Nokia white paper: "Beamforming for 4.9G/5G" <https://networks.nokia.com/innovation/5g>
- [9] Nokia white paper: "Designing cloud-native 5G core networks" <https://networks.nokia.com/innovation/5g>
- [10] 3rd Generation Partnership Project, "Procedures for the 5G System; Stage 2," 3GPP TS 23.502.
- [11] 3rd Generation Partnership Project, "Study on management and orchestration of network slicing for next generation network," 3GPP TR 28.801.
- [12] TM Forum, "Dynamic Network Slices Management and Business Models", IG1152, Release 17.0.0, July 2017. <https://www.tmforum.org/resources/exploratory-report/ig1152-dynamic-network-slices-management-and-business-models-r17-0-0/>
- [13] M. Mechtri, C. Ghribi, O. Soualah, and D. Zeghlache, "NFV orchestration framework - Addressing SFC challenges," IEEE Communications Magazine, June 2017.
- [14] S. Vassilaras, et al., "The algorithmic aspects of Network Slicing," IEEE Communications Magazine, August 2017.
- [15] J. Ordonez-Lucena, P. Ameigeiras, D. Lopez, J. J. Ramos-Munoz, J. Lorca, and J. Folgueira, "Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, architectures, and challenges," IEEE Communications Magazine, May 2017.

Biography

David Soldani received a M.Sc. degree, *Laura Vecchio Ordinamento*, in Electronic Engineering with *magna cum laude* from Università degli Studi di Firenze, Italy, in 1994; and a D.Sc. degree in Technology with *distinction* from Helsinki University of Technology (Aalto University), Finland, in 2006. In 2014 and 2016, he was appointed Visiting Professor and Industry Professor at University of Surrey, UK, and University of Technology Sydney, Australia, respectively. From 1997 to 2006 he was at Nokia in various technical and research management positions. From 2007 to 2009 he served at Nokia Siemens Networks (NSN) as Head of Customer Networks & Solutions and Solutions & Services Innovation functions, Research Technology & Platforms (RTP), Munich, Germany. Prior to joining Nokia, he was a research engineer at Rohde & Schwarz (R&S) and Sirti S.p.A., in Milan, Italy, and officer (lieutenant) at the Italian Military Navy, Livorno, Italy. From Feb 2009 to Aug 2016, he was at Huawei European Research Centre, Munich, Germany, as Head of Central Research Institute (CRI) and VP Strategic Research and Innovation, in Europe; and represented Huawei in the Board of Directors of The 5G Infrastructure Association (5G-IA) and NetWorld2020 European Technology Platform (ETP). He rejoined Nokia in 2016, and, since then, he has been serving the organization as Head of 5G Technology, End to End, Global. Areas of his responsibilities and expertise include, but not limited to: future wireless, network, big data value, computing, IoT and multimedia technologies.

Email: dr.david.soldani@gmail.com